

## **Результаты публичной защиты**

(размещено 10.03.2015)

ПРЕДСЕДАТЕЛЬСТВУЕТ – председатель диссертационного совета д.ф.-м.н., профессор  
В.В.САЗОНОВ

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ – д.ф.-м.н. Т.А. ПОЛИЛОВА

Присутствуют:

1 САЗОНОВ В.В.	д.ф.-м.н.	01.02.01
2 ПЛАТОНОВ А.К.	д.ф.-м.н.	01.02.01
3 ГОРБУНОВ-ПОСАДОВ М.М.	д.ф.-м.н.	05.13.11
4 ПОЛИЛОВА Т.А.	д.ф.-м.н.	05.13.11
5 БОРОВИН Г.К.	д.ф.-м.н.	01.02.01
6 ВАШКОВЬЯК М.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
7 ГАЛАКТИОНОВ В.А.	д.ф.-м.н.	05.13.11
8 ГОЛУБЕВ Ю.Ф.	д.ф.-м.н.	01.02.01
9 ИВАШКИН В.В.	д.ф.-м.н.	01.02.01
10 МАРОВ М.Я.	д.ф.-м.н.	05.13.11
11 КУГУШЕВ Е.И.	д.ф.-м.н.	01.02.01
12 ЛАЗУТИН Ю.М.	д.ф.-м.н.	05.13.11
13 ЛАЦИС А.О.	д.ф.-м.н.	05.13.11
14 МИРЕР С.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
15 ОВЧИННИКОВ М.Ю.	д.ф.-м.н.	01.02.01
16 ПОПОВ Ю.П.	д.ф.-м.н.	05.13.11
17 САРЫЧЕВ В.А.	д.ф.-м.н.	01.02.01
18 ПАВЛОВСКИЙ В.Е.	д.ф.-м.н.	01.02.01

На заседании у нас присутствуют 18 членов совета и 7 специалистов по профилю рассматриваемой диссертации.

По результатам публичной защиты диссертационный совет принял следующее заключение.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.024.01 НА БАЗЕ**

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН)**

**Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН**

(Федеральное агентство научных организаций -ФАНО)  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 03.03.2015 № 2

О присуждении Фролову Владимиру Александровичу (гражданин-РФ) ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Методы решения проблемы глобальной освещенности на графических процессорах» по специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, принята к защите 11.11.2014, протокол № 7 диссертационным советом Д 002.024.01 на базе ФГБУН **Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН** (Федеральное агентство научных организаций), созданным приказом № 105/н.к. от 11.04.2012, находится по адресу: 125047, Москва, Миусская пл., 4.

Соискатель Фролов Владимир Александрович, 1987 года рождения. В 2010 году соискатель окончил МГУ имени М.В.Ломоносова, факультет Вычислительной математики и кибернетики. В 2013 году соискатель окончил очную аспирантуру ФГБУН Институт прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН. С 2011 года Фролов В.А. работал в ФГБУН Институте прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН (ФАНО) в должности младшего научного сотрудника на половину ставки в отделе № 2 «Компьютерной графики и вычислительной оптики». По окончании аспирантуры, соискатель продолжил работу в должности младшего научного сотрудника на полной ставке в отделе №2 «Компьютерной графики и вычислительной оптики».

Диссертация выполнена в отделе №2 «Компьютерной графики и вычислительной оптики» ФГБУН Института прикладной математики им.М.В.Келдыша РАН (ФАНО).

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор Галактионов Владимир Александрович, ФГБУН Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН (ФАНО), отдел №2 «Компьютерной графики и вычислительной оптики», заведующий отделом.

Официальные оппоненты:

Клименко Станислав Владимирович, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры Инженерной геометрии, компьютерной графики и автоматизированного проектирования Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета,

Конущин Антон Сергеевич, гражданин РФ, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией Компьютерной графики и мультимедиа факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова - дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - Нижегородский государственный университет имени Н.И.Лобачевского (603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23) в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором кафедры Математического обеспечения ЭВМ, по совместительству - руководителем лаборатории компьютерной графики и мультимедиа, Турлаповым Вадимом Евгеньевичем указала, что

- Диссертация посвящена решению актуальной на сегодняшний день проблеме глобальной освещенности.
- Разработанные в диссертации методы являются новыми и говорят о новом существенном шаге, как в создании когерентных методов глобальной

освещенности, так и в повышении производительности существующих методов на графических процессорах.

- Разработанная система расчета освещенности интегрирована в пакет моделирования 3D Studio Max и широко используется в промышленности и дизайне. Предоставленное сравнение демонстрирует значительное преимущество разработанной системы над существующими коммерческими продуктами, использующими как смещенные, так и несмещенные методы, что доказывает эффективность разработанных в диссертации методов.
- Диссертация написана понятным языком, содержит большое число иллюстраций, всеобъемлющий обзор существующих решений. Значительный объем экспериментальных данных и сравнений производит положительное впечатление.
- Однако к работе имеются замечания:
  - Более точно теоретической и практической направленности работы соответствовало бы название «Методы реального времени для решения проблемы глобальной освещенности в проектировании». Здесь наиболее полно востребована производительность синтеза виртуальной сцены.
  - На страницах 15 небрежно сформулирована фраза о ДФО («угол» следует заменить на «направление»), на странице 19 англоязычный термин «glossy» следует переводить как «глянцевый» а не «матовый». На странице 22 термин «соединение вершин» следует заменить на «слияние вершин».
  - Предложенный в работе алгоритм кэширования освещенности на GPU достигает ускорения около 1 порядка. Однако, в диссертации рассмотрены примеры синтеза изображений статических сцен. Остается под вопросом и требует дальнейшего исследования успешность алгоритма в случае анимированных сцен.
  - Имеются следы многократного редактирования текста, приведшего к некоторым несогласованностям.

- Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертация выполнена на высоком уровне и обладает высокой практической значимостью. Результаты диссертации Фролова В.А. полно представлены в его публикациях и правильно отражены в автореферате. Автореферат полностью соответствует диссертации. Работа удовлетворяет положениям ВАК, предъявляемым к специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, а её автор Фролов Владимир Александрович – заслуживает присуждения ему искомой степени.

Основные положения и результаты диссертационной работы В.А. Фролова были доложены автором и обсуждены на

1. Семинаре по компьютерной графике и машинному зрению Ю.М.Баяковского (Москва, факультет ВМК МГУ, 11 октября 2013 года, протокол №8).
2. Семинаре направления “Программирование” им. М. Р. Шура-Бура в ИПМ им.М.В.Келдыша (24 октября 2013 года, протокол №12).
3. Семинаре кафедры математического и программного обеспечения ЭВМ факультета ВМК ННГУ 06 февраля 2015 года, протокол №9.

Соискатель имеет 10 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 9 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях - 4, из них 2 публикации в журналах Перечня ВАК [2, 4]; 2 публикации входят в библиографическую базу Web Of Science [2,4]; 3 публикации входят в библиографическую базу Scopus [1-3]. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

За время работы над диссертацией Фролов В.А., работая по теме диссертации, выиграл следующие гранты и конкурсы:

1. Грант РФФИ “МОЛ-А 12-01-31027”.
2. Стипендия Президента РФ на 2013-2015 гг.
3. НИОКР по программе СТАРТ фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно технической сфере. Проект успешно завершен. Госконтракт номер 8571p/13911.

Автореферат диссертации в полной степени, четко и ясно отражает ее принципиальные положения, структуру и основные полученные результаты. На автореферат отзывов не поступало.

Основные публикации:

- [1] Frolov Vladimir, Kharlamov Alexander, Ignatenko Alexei. Biased Global Illumination via Irradiance Caching and Adaptive Path Tracing on GPUs // Proceedings of GraphiCon'2010 international conference on computer graphics and vision. St.Petersburg, 2010. P. 49–56. URL: <http://www.graphicon.ru/proceedings/2010/conference/EN/Se2/43.pdf>.
- [2] Фролов В. А., Харламов А. А., Игнатенко А. В. Смещённое решение интегрального уравнения светопереноса на графических процессорах при помощи трассировки путей и кэша освещенности // ПРОГРАММИРОВАНИЕ. 2011. Т. 37, № 5. С. 47–60. English translation: V.A. Frolov, A.A. Kharlamov, A.V. Ignatenko. Biased solution of integral illumination equation via irradiance caching and path tracing on GPUs // Programming and Computer Software. 2011. vol 31. P 255-259. URL: <http://dx.doi.org/10.1134/S0361768811050021>.
- [3] Frolov Vladimir, Vostryakov Konstantin, Kharlamov Alexander, Galaktionov Vladimir. Implementing Irradiance Cache in a GPU Realistic Renderer //Transactions on Computational Science XIX. Lecture Notes in Computer Science. 2013. Vol. 7870, no. 1. P. 17–32. URL: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39759-2\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39759-2_2).
- [4] Фролов В.А., Харламов А.А., Галактионов В.А., Востряков К.А. Октодеревья со множественными ссылками в применении к реализации фотонных карт и кэша освещенности на GPU. // ПРОГРАММИРОВАНИЕ. 2014. Т.40.

№ 4., С. 64-73. English translation: Frolov V.A. Galaktionov V.A., Vostryakov K.A., Kharlamov A.A. Multiple reference octrees for a GPU photon mapping and irradiance caching // Programming and Computer Software. 2014. Vol. 40, no 4. P. 208–214. URL:<http://dx.doi.org/10.1134/S0361768814040033>.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием существенного опыта в области компьютерной графики, численного моделирования и разработки промышленного ПО у оппонентов и организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработан новый подход к вычислению глобальной освещенности на графических процессорах с применением метод со смещенным решением. Получены следующие новые результаты в области расчета глобальной освещенности на графических процессорах:

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

Предложена параллельная реализация алгоритма кэширования освещенности 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 освещенности или реализаций, частично использующих графические процессоры, в

предложенном подходе впервые решена проблема одновременной вставки в кэш большого числа не дублирующих друг друга записей. За счет этого достигнута масштабируемость алгоритма и возможность легкой интеграции в существующие программные системы расчета освещения на графических процессорах.

Разработан метод построения структуры пространственного поиска на графических процессорах, позволяющий от 2 до 5 раз ускорить сбор освещенности 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. В отличие от других способов построения структуры пространственного поиска для фотонных карт, предложенный метод строит структуру, позволяющую выполнить процесс сбора освещенности в заданной точке со всех фотонов в единственном цикле сбора, не содержащем ветвлений.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: для серийных графических процессоров разработаны высокоэффективные алгоритмы:

1. Распределения работы для Монте-Карло трассировки лучей на множестве пикселей изображения, позволяющим эффективно распределить вычислительные мощности GPU на изображении любой сложности.
2. Параллельного построения кэша освещенности на GPU, дающим ускорение процесса построения изображения на порядок по сравнению с Монте-Карло трассировкой лучей на GPU.
3. Построения окто-дерева со множественными ссылками на GPU, позволяющего от 2 до 5 раз ускорить финальный сбор и до 2 раз сократить время построения изображения по сравнению с аналогами.

Разработанные алгоритмы были внедрены в качестве основных расчетных методов в программный продукт «Hydra Renderer», интегрированный в популярную систему моделирования 3D Studio Max. Сравнение, проведенное в диссертации показывает преимущество разработанных алгоритмов над аналогами, а разработанной системы над существующими коммерческими продуктами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что: все основные положения и заключения, сформулированные в работе, обоснованы с помощью большого количества численных экспериментов и сравнений. Проведенное в диссертации сравнение с существующими коммерческими продуктами является точным и всеобъемлющим, и, таким образом, доказывает преимущество разработанных в диссертации подходов над существующими решениями.

Личный вклад соискателя состоит в следующем: разработка лично автором алгоритмов распределения работы на множестве пикселей изображения, параллельного построения кэша освещенности на GPU, параллельного алгоритма построения окто-дерева со множественными ссылками на GPU; создание системы расчета освещения «Hydra Renderer» и её интеграция в 3D Studio Max; апробация результатов исследования; подготовка основных публикаций по содержанию работы; представление опубликованных работ. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной проблемы и соответствует критерию внутреннего единства, что

подтверждается взаимосвязью задач, последовательно решаемых для достижения цели работы.

На заседании 03.03.2015 диссертационный совет принял решение присудить Фролову В.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за **18**, против - **нет**, недействительных бюллетеней - **нет**.

Председатель диссертационного совета Д 002.024.01

доктор физ.-мат. наук профессор

Сазонов Виктор Васильевич

Ученый секретарь диссертационного совета Д 002.024.01

доктор физ.-мат. наук

Полилова Татьяна Алексеевна