

## **УТВЕРЖДАЮ**

Директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук

академик РАН  Б.Г. Михайленко  
« 12 » мая 2014 г.

## **ОТЗЫВ**

### **ведущей организации на диссертационную работу**

Гаранжи Кирилла Владимировича «Интерактивный синтез реалистичных изображений больших 3D сцен с применением графических процессоров», 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 для науки и практики**

Диссертация К.В. Гаранжи посвящена проблеме повышения производительности расчета фотoreалистических изображений трёхмерных сцен на графическом процессоре (GPU).

Актуальность темы определяется интенсивным развитием многоядерных процессоров и, особенно, потоковых вычислений на центральных процессорах и графических процессорах, как вычислителях общего назначения. Компании-лидеры этого направления прямо ставят перед собой, как актуальную задачу сегодняшнего дня, повышение производительности трассировки лучей для сложных сцен. Востребованным становится повышение производительности алгоритмов трассировки при одновременном повышении качества трассировки, позволяющем достичь не просто реалистичности, но и физической корректности изображения самых сложных сцен.

Основное внимание в работе удалено: 1) повышению скорости построения геометрической базы данных (ГБД) для детализированных динамических сцен, которая используется как поисковая структура в процессе трассировки лучей, 2) повышению скорости собственно трассировки лучей массивных сцен на графическом процессоре, где размер сцен может многократно превышать размер памяти процессора. Данные операции являются, пожалуй, самыми ресурсоёмкими в процессе фотoreалистической визуализации, основанной на оптических законах переноса света.

Эта тема актуальна с практической точки зрения, т.к. сокращение времени расчета изображений сцен и интерактивность программных продуктов, способны существенно повысить производительность труда и качество решений в областях с применением реалистической физически корректной визуализации, таких как: архитектура, автоматизированное проектирование и в ряде других областей.

#### **Структура работы**

*Во введении* поставлена задача диссертационной работы, обоснована актуальность и практическая значимость темы диссертации, обосновано применение вычислительных мощностей графического процессора в решении поставленной задачи.

*В первой главе* диссертации представлен обзор предметной области, коротко изложены основы синтеза фотореалистических изображений трехмерных виртуальных сцен. Раскрыта высокая вычислительная сложность метода трассировки лучей, являющегося частью системы реалистической визуализации.

*Во второй главе* описан алгоритм обновления существующей геометрической базы данных для динамических сцен, основанный на разделении анимации объектов на несколько типов, а также применению локальной операции перестройки региона ГБД, наиболее эффективной для конкретного типа движения внутри региона.

*В третьей главе* предлагается способ быстрого построения ГБД для динамических сцен, основанный на идеи сохранения доли пространственной когерентности групп движущихся и связанных полигонов, представляющих отдельные части объектов сцены.

*В четвертой главе* описан алгоритм быстрого построения ГБД для анимированных сцен с использованием графического процессора, основанный на использовании вспомогательной трёхмерной сетки.

*В пятой главе* описана более мощная модификация алгоритма Hierarchical Linear Bounding Volume Hierarchies (HLBVH2), предназначенного для построения ГБД на графическом процессоре. Новый алгоритм строит идентичную ГБД в 5-10 раз быстрее, потребляя в 4 раза меньше памяти по сравнению с предыдущим алгоритмом.

*В шестой главе* описан алгоритм трассировки лучей для массивных сцен на графическом процессоре. Используются специализированные для конкретной задачи методы хранения и перемещения данных между оперативной памятью центрального процессора и внутренней памятью графического процессора, которая используется как кэш данных.

## **Достоверность и новизна результатов**

Автором диссертационной работы получены следующие результаты:

- Разработаны масштабируемые алгоритмы поиска пересечений лучей и фильтрации текстур, позволяющие с использованием серийных графических процессоров реалистично визуализировать массивные сцены (до 1 млрд. треугольников, до 1 терабайта текстур) на порядок быстрее существующих аналогов, исполняющихся на CPU и на графическом процессоре. Разработанные алгоритмы применимы совместно с любыми алгоритмами расчёта глобального освещения, основанными на трассировке лучей, они применимы также для интерактивных систем.
- Разработанный алгоритм поиска пересечений лучей позволил достичь логарифмической зависимости скорости поиска пересечений от размера кэша графического процессора. Это позволяет использовать кэш память меньшего размера с сохранением приемлемой скорости поиска пересечений.
- Разработано несколько алгоритмов быстрого построения геометрической базы данных, в том числе алгоритмов, исполняющихся на графическом процессоре с более низким и предсказуемым потреблением памяти и на порядок быстрее существующих аналогов.

Представленные в работе Гаранжи К.В. алгоритмы и методы новые, они обоснованы и подтверждены результатами экспериментов с использованием сложных сцен. Результаты доступны также в публикациях по теме диссертации и представлены на международных конференциях и семинарах, посвященных данной теме.

## **Ценность диссертационной работы для науки и практики**

- Применение разработанных в диссертационной работе алгоритмов в существующих программных комплексах, в том числе в комплексах фотореалистической визуализации, позволяет привести к существенному повышению производительности труда в архитектурном, инженерном проектировании и киноиндустрии.

- Исследование и разработки в направлениях, выбранных в настоящей диссертации, являются очень перспективными с учётом тенденций в развитии архитектур современных процессоров и с учётом роста требований к программам фотореалистической визуализации, в частности, и к программам обработки больших объёмов данных в целом.
- Предложенный алгоритм поиска пересечений лучей и объектов сцены был внедрён в программный продукт визуализации массивных сцен Сентиleo (см. <http://www.centileo.com>).
- Предложенный модифицированный алгоритм HLBVH был внедрён в библиотеку OptiX компании разработчика графических процессоров NVIDIA (см. <http://www.nvidia.com/object/optix.html>).

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Продолжение исследований и развитие предложенных методов и средств является очень перспективным направлением дальнейшей работы как в академическом, так и в практическом плане.

Например, перспективным направлением деятельности является перенос разработанных алгоритмов с платформы программирования CUDA на OpenCL, которая в последнее время становится более стабильной.

Разработанные в диссертации алгоритмы ограничиваются лишь полигональным представлением виртуальной сцены (являющегося самым распространённым видом представления сцены в сферах проектирования и киноиндустрии). Было бы интересно продолжить развитие предложенных методов и средств для других видов представления объектов сцен, например, криволинейных поверхностей и линий, а также облаков точек.

Результаты предложенных методов и алгоритмов продемонстрированы в сфере инженерного проектирования, однако считаем необходимым применить разработанные методики, возможно с модификациями, для сферы визуализации медицинских и геологогеофизических данных.

Хотелось бы отметить, что автор правильно раскрыл актуальность диссертационной темы, но область применения результатов не ограничивается «реалистической визуализацией», поскольку разработанные алгоритмы направлены на ускорение трассировки лучей в геометрической сцене, что явно выходит за рамки компьютерной графики и усиливает важность работы.

### **Общие замечания**

Диссертация достаточно хорошо структурирована и иллюстрирована, написана понятным языком. Имеется ряд замечаний по тексту:

1. Используется большое количество аббревиатур, обозначающих тот или иной алгоритм или структуру данных, с использованием английских символов. Определения на русском языке для подобных терминов даются в тексте прежде, чем они используются. Отдельная сводная таблица всех подобных терминов с соответствующими пояснениями упростила бы чтение диссертации.
2. На стр. 7 используется термин «разрешение Full HD». Было бы лучше вместо маркетингового термина компании Sony использовать количественные характеристики, например разрешение 1920x1080 точек.
3. Стр. 70 – псевдокод алгоритма 4.1: по логике операция в строке 20 должна быть последней, а не первой внутри цикла `while`.
4. Стр. 124 – подпись к таблице, 2 опечатки: “является быстрейшим на данный момент алгоритмом поиска пересечений” и “в данном сравнении выявляются дополнительные временные расходы”.

5. Стр. 126 – подпись к таблице, опечатка: “наибольшая скорость текстурной фильтрации обеспечивается вследствие использования...”.

## Заключение

Указанные замечания не меняют общего положительного впечатления о диссертации. Диссертационная работа Гаранжи К.В. посвящена решению актуальной научной проблемы, соответствует специальности 05.13.11, выполнена на хорошем научном уровне, имеет высокую теоретическую и практическую значимость. Основные результаты диссертации опубликованы в научной печати и докладывались на всероссийских и ведущих международных конференциях и семинарах. Автореферат правильно и полно отражает ее содержание.

Работа отвечает критериям Положения ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Гаранжа К.В. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – "математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей".

---

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужденены на заседании Лаборатории численного анализа и машинной графики Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН)

« 12 » мая 2014 г., протокол № 3

Зав. лабораторией численного анализа и  
машинной графики, д.ф.-м.н.

А.М. Мацокин

Рецензент, ведущий научный сотрудник,  
д.т.н.

В.А. Дебелов