

## ОТЗЫВ

Официального оппонента Турлапова Вадима Евгеньевича на диссертационную работу Гаранжа 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 темы.** Диссертация К.В. Гаранжа посвящена решению ключевых проблем обеспечения интерактивности визуализации сверхбольших 3D сцен. Решения для графических процессоров (GPU) рассматриваются как наиболее перспективные. Под сверхбольшими понимаются сцены, которые по требуемому объему памяти многократно превосходят современные размеры памяти как графических, так и центральных процессоров. Такие размеры сцен связаны с объективной сложностью проектируемых сегодня объектов техники, промышленных установок. Так используемая в диссертации тестовая модель самолета «Боинг» насчитывает более 300 млн. треугольников. Еще большую сложность могут иметь сцены виртуальной реальности, которые мы наблюдаем в 3D-фильмах.

Тем не менее, для оценки проектов принципиально важно, чтобы виртуальные сцены такой сложности визуализировались и достоверно, и интерактивно. Создание достоверных изображений возможно только в том случае, если оно основывается на моделировании реальных оптических законов распространения света в сцене. И проблема состоит здесь не только в размере сцен, но и также в том, что поведение объектов реального мира моделируется статистически методами Монте-Карло. Как следствие, через каждый пиксель изображения трассируется не один луч, а сотни и тысячи лучей. Поэтому генерация таких изображений требует очень большого объема вычислений. Так для синтеза одного кадра в фильме Аватар использовалось порядка 400 процессорочасов (с одним ядром) центрального процессора.

Сегодня GPU превратились в универсальные массивно-параллельные процессоры с высокой производительностью (до 5 TFLOPS на одном чипе) и стали применяться для решения различных вычислительно трудоемких задач. Использование ресурсов GPU для реалистичного синтеза изображений, однако, требует реализации сложных компьютерных алгоритмов с учётом специфики архитектуры этих процессоров, в результате чего возникает

множество нюансов в процессе разработки параллельных программ, исполняющихся на графическом процессоре. Это требует глубоких и комплексных знаний, серьезных трудозатрат от автора, но обещает и хорошую отдачу.

Поэтому актуальность темы диссертационной работы К.В. Гаранжа не вызывает сомнений. Работа представляет набор методов и средств, позволяющих добиться высокопроизводительного интерактивного синтеза реалистичных изображений сверхбольших сцен на GPU.

**Структура и содержание работы.** *Во введении* раскрывается актуальность и проблематика расчёта освещения и синтеза реалистичных изображений и, прежде всего, интерактивного синтеза изображений. Раскрыты основные принципы используемых алгоритмов и спектр существующих аппаратных средств, их достоинства и недостатки. Сформулированы цели и задачи диссертационной работы, практическая значимость и научная новизна.

*В первой главе* диссертации представлен обзор предметной области. Трассировка лучей является основой большинства алгоритмов синтеза реалистичных изображений. В первом разделе описан конвейер визуализации, состоящий из нескольких стадий, последовательностью которых можно представить алгоритм реалистичной визуализации. Выделены стадии конвейера, на которые направлен фокус диссертационной работы.

*Во второй главе* описан алгоритм эффективного обновления существующей геометрической базы данных (сокр. ГБД) на основе структуры ГБД, построенной для предыдущих кадров анимации. Разработанный алгоритм объединяет достоинства нескольких более ранних методов, адаптивно уменьшая сложность операций перестроения ГБД в каждом кадре в процессе анимации сцены.

*В третьей главе* предлагается способ быстрого построения ГБД, основанный на уменьшении множества примитивов, используемых в процессе построения. Суть заключается в том, что группы когерентных полигонов объединяются с помощью специальной процедуры один раз и в течение анимации в контексте построения используется только множество охватывающих оболочек найденных групп. Продемонстрирована применимость такого подхода для сцен различного типа.

*В четвертой главе* описан простой в реализации параллельный алгоритм быстрого построения ГБД с использованием графического процессора за линейное время. Ускорение процесса построения достигается за счёт использования вспомогательной равномерной 3D сетки.

*В пятой главе* описан более простой в реализации и более мощный вариант алгоритма HLBVN (построение ГБД на графическом процессоре), который назван HLBVN2. Новый алгоритм строит идентичное дерево значительно быстрее, и, при этом, потребляет в несколько раз меньше памяти по сравнению с предыдущим алгоритмом.

*В шестой главе* описан алгоритм трассировки лучей для сверхбольших (в указанном выше смысле) сцен на графическом процессоре. Используются методы хранения, пересылки и кэширования данных, из которых состоит сцена и вспомогательные поисковые структуры данных, специализированные для конкретной задачи трассировки лучей. Продемонстрирована эффективность алгоритма, которая позволяет применять его в приложениях интерактивной визуализации для очень больших сцен.

**Научная новизна и достоверность результатов.** Основная новизна работы состоит в следующем:

- 1) Разработано несколько алгоритмов быстрого построения геометрической базы данных (ГБД), применяемой для ускорения трассировки лучей:
  - a. Алгоритм обновления ГБД в каждом кадре анимации сцены, использующий ранее построенную структуру. Разработанный алгоритм применим для широкого класса анимированных сцен, включая взрывные анимации и структурированное движение.
  - b. Алгоритм генерации множества кластеров связанных полигонов и использования множества кластеров в качестве строительных блоков в контексте построения ГБД для более быстрого построения, т.к. множество кластеров на порядок меньше множества полигонов.
  - c. Алгоритмы построения ГБД на графическом процессоре, потребляющие в несколько раз меньше памяти, работающие на порядок быстрее, чем аналоги на центральном и на графическом процессоре.
- 2) Разработаны масштабируемые алгоритмы поиска пересечений лучей и фильтрации текстур, позволяющие с использованием серийных графических процессоров реалистично визуализировать массивные сцены, размер которых может на порядки превышать размер физической памяти графического процессора.

Сформулированные в работе основные положения и выводы достаточно обоснованы, реализованы на ЭВМ в виде соответствующих алгоритмов и программ, подтверждены результатами численных экспериментов, опубликованы в материалах ведущих мировых научных

конференций и научных статьях, а также в виде демонстраций работы программного комплекса.

**Практическая значимость.** Разработанный алгоритм поиска пересечений лучей и высоко-детализированных объектов сцены на порядок быстрее существующих аналогов, исполняющихся на графическом процессоре. Он применим совместно с любыми алгоритмами расчёта глобального освещения, основанными на трассировке лучей, в том числе интерактивными, и не требует дополнительных предварительных расчётов, кроме собственно построения геометрической базы данных. Разработанный алгоритм поиска пересечений лучей позволил достичь логарифмической зависимости скорости поиска пересечений от размера кэша графического процессора. Это позволяет сохранить приемлемую скорость, при использовании кэш-памяти меньшего размера или уплотнить загрузку графического процессора и получить большую производительность массовых параллельных вычислений.

В частности, разработанный программный комплекс на основе алгоритмов, представленных в диссертации, позволяет реалистично визуализировать изображения в высоком разрешении сложных моделей, состоящих из нескольких сотен миллионов треугольников в режиме интерактивной визуализации на массовом графическом процессоре.

Представленный в главе 5 алгоритм построения геометрической базы данных на графическом процессоре внедрён в программную библиотеку OptiX фирмы NVIDIA (см. <http://www.nvidia.com/object/optix.html>).

Представленный в главе 6 алгоритм поиска пересечений лучей и объектов сцены внедрён в программный продукт визуализации массивных сцен Сентилео (см. <http://www.centileo.com>).

**Замечания к тексту диссертации.** Диссертация написана ясным языком, достаточно структурирована и хорошо иллюстрирована. Однако наряду с достоинствами работы отмечены следующие недостатки:

- 1) В рисунках, сопровождающих текст диссертации и автореферата, используются слишком длинные подписи, в которых объясняется изображённый процесс. Описание этого же процесса дублируется также и в тексте, с более полным объяснением, откуда идёт ссылка на картинку. Следовало бы значительно сократить объем подрисуночного текста
- 2) Стр. 22 – опечатка: “...для одновременного производства тестов с 4 лучами...”

- 3) Стр. 24 – “каждый блок потоков обрабатывается на единственном ядре GPU”. Следует писать “... на одном ядре GPU, т.к. ядер реально очень много.”
- 4) Стр. 85 – подпись к рис.5.1: опечатка, правильно: “Построение е BVH по алгоритму HLVBH2...”
- 5) Стр. 85 – опечатка в тексте “создаётся уровень дерева, содержащий потомки и узлов предыдущего уровня.”

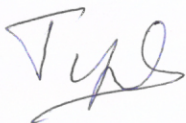
### Заключение по работе в целом

Несмотря на указанные замечания, диссертация К.В. Гаранжа является законченным научным исследованием, имеющим практическую ценность. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Ее результаты вносят существенный вклад в разработку программных средств синтеза реалистичных изображений трехмерных сцен и их приложений. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в научной печати и докладывались на ведущих мировых конференциях. Текст диссертации соответствует публикациям. Автореферат полно отражает ее содержание.

Работа отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор К.В. Гаранжа 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,  
Профессор кафедры Математического обеспечения ЭВМ  
(МО ЭВМ) факультета Вычислительной математики и  
кибернетики Нижегородского государственного  
университета им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород)

д.т.н., доцент



В.Е. Турлапов

«19» 05 2014 года

Подпись д.т.н. В.Е. Турлапова удостоверяю,

Первый проректор НИИ Уд.с.н



А.О.Грудзинский