

## ОТЗЫВ

Официального оппонента Игнатенко Алексея Викторовича на диссертацию 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**

Рассматриваемая в диссертационной работе К.В. Гаранжа задача повышения производительности синтеза реалистичных изображений, основанная на моделировании распространения света трассировкой лучей является одной из фундаментальных задач компьютерной графики и не потеряла своей актуальности в настоящее время.

Синтез реалистичных изображений применяется в различных прикладных задачах: промышленном инженерном моделировании, визуализации, презентации продукции, визуальных спецэффектах кино, игровой индустрии. В настоящее время скорость генерации реалистичного изображения с глобальным освещением может измеряться в часах на кадр. Поэтому повышение скорости визуализации положительно сказывается на производительности труда и экономической составляющей производства изображений.

Прогресс современных графических процессоров требует адаптировать существующие и разрабатывать новые алгоритмы, эффективно применяющие большие вычислительные возможности современных параллельных процессоров. Это направление современной компьютерной графики характеризуется высокой сложностью, и в то же время благодаря высокой вычислительной мощности графических процессоров является перспективным.

Актуальность темы диссертации К.В. Гаранжа не вызывает сомнений. Работа представляет набор средств, позволяющих добиться высокопроизводитель-



ного синтеза реалистичных изображений на графическом процессоре.

## **Структура и содержание работы**

Представленная на отзыв диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и библиографии.

*Во введении* описываются области применения методов реалистичной визуализации 3D сцен, подтверждающие как актуальность, так и практическую значимость выбранной темы. Кратко изложен принцип построения реалистичных изображений на основе трассировки лучей. Приводится одна из главных проблем базового метода моделирования освещенности – его большая вычислительная сложность и сложность хранения в памяти. Ставятся цели и задачи диссертационной работы.

*В первой главе* представлен краткий обзор технологий и подходов к реализации трассировки лучей. Также схематично изображён программный конвейер визуализации. Отмечены стадии конвейера, проблемы которых решались в диссертационной работе.

*Во второй главе* изложен алгоритм обновления геометрической базы данных, учитывающий историю предыдущих обновлений. Показано уменьшение сложности операций обновления структуры для анимационных сцен различного типа.

*В третьей главе* изложен алгоритм группирования множества примитивов, которые необходимо организовать в геометрической базе данных для последующей трассировки лучей. Предложенный способ группирования и последующее использование неделимых групп для построения базы данных может в несколько раз ускорить процесс визуализации в динамических сценах

*В четвертой главе* представлен быстрый параллельный алгоритм построения адаптивной геометрической базы данных на основе сеточной аппроксимации распределения полигонов в сцене.

*В пятой главе* представлен простой в реализации и наиболее эффективный по памяти и по скорости параллельный алгоритм построения геометрической базы данных на графическом процессоре.



В шестой главе представлен алгоритм трассировки лучей больших сцен на процессоре с ограниченной памятью. Методы и средства построения использующихся структур данных и способов загрузки данных представлены, обоснованы и продемонстрированы с помощью численных экспериментов, позволяющих судить о высокой эффективности предложенного алгоритма в интерактивной визуализации больших сцен.

В заключении приведены основные результаты и показаны примеры практического применения.

### **Новизна результатов исследований**

Предложенные в диссертационной работе алгоритмы являются новыми. Реализовано несколько алгоритмов построения геометрической базы данных, использующейся для организации примитивов 3D сцены и ускорения трассировки лучей в динамических сценах. Предложенные алгоритмы имеют свою специфику для различных приложений: в одном алгоритме уменьшается рабочее множество в процессе построения структуры, в другом алгоритме снижается размер используемой памяти в процессе построения, достигается простота реализации и в несколько раз большая скорость исполнения на графическом процессоре по сравнению с аналогами.

Главным достижением диссертационной работы является out-of-core алгоритм, позволяющий реализовывать быструю трассировку лучей в различных приложениях расчёта переноса света для очень больших 3D сцен на графическом процессоре. Продемонстрирован интерактивный режим работы Монте-Карло трассировки лучей в сцене, в несколько раз превышающей размер физической памяти процессора, а также продемонстрирована высокая кэш-эффективность при различных размерах кэша временных данных, выделенного в памяти графического процессора.

Авторов сделаны несколько докладов на семинарах университетов и на ведущих мировых конференциях по компьютерной графике, на которых были продемонстрированы и прокомментированы численные и визуальные результаты работы соответствующих программ.



## Практическая ценность исследований

Работа имеет безусловную практическую ценность. Алгоритм трассировки лучей очень больших сцен, выполняющийся на графическом процессоре, на порядок быстрее существующих аналогов, позволяет достигать интерактивного отображения сцены в условиях глобального освещения на ноутбуке, оснащённом графическим процессором. Подобные алгоритмы должны в скором времени применяться в архитектурном и инженерном проектировании особо сложных объектов и снижать трудозатраты проектировщиков.

Другой представленный в настоящей работе алгоритм, построения геометрической базы данных с помощью мортон-кодов, в 2011 году был внедрён в популярную программную библиотеку NVIDIA OptiX. Благодаря своей эффективности по памяти и скорости, а также благодаря простоте реализации, этот алгоритм использовался для сравнений в ряде последующих академических публикациях, посвящённых данной теме.

## Замечания к тексту диссертации

В целом следует отметить, что работа написана понятным техническим языком, однако имеются некоторые незначительные шероховатости:

- 1) Не хватает ссылки на стр. 20: “процесс построения SAH-дерева является медленным, временная сложность  $O(n \log n)$ ”. Здесь следует вставить ссылку на работу, где подтверждается данное утверждение, например, подходят работы [109] и [113].
- 2) Неправильный порядок слов на стр. 26 – “в настоящей работе фокус сделан на применении методов кэширования данных высоко-детализированных на GPU для трассировки лучей общего назначения” – здесь следует слово “данных” сдвинуть на одно слово вперёд.
- 3) Опечатка на стр. 85 в подписи к рис.5.1: “Построение BVN по алгоритму”.
- 4) Опечатка на стр. 88, внизу страницы, правильно “...соответствующий массиву треугольников...”.
- 5) В статье по ссылке [14] порядок следования авторов другой, обратный.

## Заключение по работе

Несмотря на отмеченные замечания, считаю, что работа К.В. Гаранжа "Интерактивный синтез реалистичных изображений больших 3D сцен с применением графических процессоров" удовлетворяет требованиям Положения ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.11 – "математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей", а ее автор К.В. Гаранжа заслуживает присуждения ему искомой степени.

Официальный оппонент,  
Игнатенко Алексей Викторович, старший науч-  
ный сотрудник лаборатории компьютерной гра-  
фики и мультимедиа факультета вычислительной  
математики и кибернетики Московского госу-  
дарственного университета им. М.В. Ломоносова  
(г. Москва),  
кандидат физико-математических наук

А.В. Игнатенко



« 02 » июня \_\_\_\_\_ 2014 года

Подпись А.В. Игнатенко заверяю,  
учёный секретарь Учёного совета факультета ВМК МГУ  
Григорьев Е.А.

