

ОТЗЫВ

официального оппонента Семенова Виталия Адольфовича на диссертационную работу Санжарова Вадима Владимировича «Разработка расширяемой системы фотореалистичного рендеринга на GPU», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

Актуальность. Диссертационная работа Санжарова Вадима Владимировича посвящена проблеме создания перспективных открытых систем фотореалистичного рендеринга на графических процессорах (GPU). К подобным системам предъявляются повышенные требования по функциональному развитию и интеграции со сторонними приложениями в дополнение к критическим требованиям по производительности.

С развитием графических процессоров, обеспечивающих аппаратное ускорение операций трассировки лучей и рендеринга, разработка высокопроизводительных средств компьютерной графики оказалась тесно связанной с технологиями программирования на GPU. Однако данные технологии, часто зависящие от платформ реализации, предполагают использование низкоуровневых и специализированных инструментов, что предъявляет дополнительные требования к квалификации разработчиков программного обеспечения и накладывает ограничения на участие конечных пользователей в развитии его функционала.

Вместе с тем, добавление новых функций рендеринга и поддержка новых классов геометрических моделей, материалов, текстур крайне важны для приложений фотореалистичного рендеринга в таких областях, как промышленный дизайн, архитектура и урбанистика, кинематограф и анимация. В связи со стремительным развитием технологий распознавания на основе нейро-сетевых моделей актуальной становится и задача синтеза репрезентативных наборов изображений, которые могли бы использоваться для машинного обучения в приложениях компьютерного зрения.

Тем самым, открытые высокопроизводительные рендер-системы имеют самые разнообразные приложения. В диссертационной работе представлен общий подход к построению подобных систем на основе многоуровневой архитектуры, а также

проработаны методы реализации ключевых компонентов рендеринга, включая методы поддержки процедурных текстур.

Структура работы. Диссертационная работа Санжарова В.В. состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 156 страниц, список литературы содержит 167 наименований.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, цель и задачи работы, определяется её научная новизна и практическая значимость.

В первой главе проведен обзор предметной области и определен набор требований, предъявляемых к высокопроизводительным средствам фотореалистичного рендеринга на основе графических процессоров с аппаратным ускорением трассировки лучей. Важное внимание при этом уделено требованиям открытости, кроссплатформенности и интегрируемости со сторонними приложениями моделирования сцен и рендер-системами.

Во второй главе автор описывает многоуровневую архитектуру, удовлетворяющую вышеперечисленным требованиям за счет введения промежуточного слоя между интегрируемыми пользовательскими приложениями и компонентами рендеринга. Слой реализует медианную интеграцию представлений сцен, обеспечивает их хранение и инкрементальное обновление в ходе интерактивных сессий, а также предоставляет необходимый интерфейс синтеза изображений и планирования заданий. В главе также проводится комплексное сравнение целевых систем на основе предложенной архитектуры с существующими решениями.

В третьей главе обсуждаются возможности процедурного вычисления текстур. Разработан и детально исследован алгоритм для предварительной оценки необходимого разрешения текстур в отображаемых сценах. Доказанные теоретические утверждения и результаты проведенных вычислительных экспериментов подтверждают эффективность предложенного алгоритма, который обеспечивает качественный рендеринг сложных сцен при не избыточности вычислений и существенном снижении требований к объему памяти.

В четвертой главе автором представлен оригинальный метод разработки и исполнения пользовательских расширений на OpenCL C. Метод обеспечивает поддержку новых геометрических примитивов и многопараметрических моделей материалов в результате разделения процессов вычисления пересечений лучей с примитивами и вычисления цвета. Проведенное сравнение с альтернативными реализациями на основе

подстановок кода и использования конвейера трассировки лучей позволило определить область применимости разработанного метода.

Пятая глава посвящена вопросам реализации рендер-систем на основе многоуровневой архитектуры, а также практическому опыту интеграции разработанной открытой системы фотореалистичного рендеринга Hydra Renderer с популярными продуктами моделирования 3D сцен Autodesk 3ds Max, LightCAD, Fabric Engine. В главе также описывается успешный опыт разработки на основе Hydra Renderer программного комплекса синтеза наборов изображений для приложений компьютерного зрения и машинного обучения.

Научная новизна. В работе получены следующие новые научные результаты:

- Разработана новая многоуровневая программная архитектура для открытых высокопроизводительных систем фотореалистичного рендеринга, к которым предъявляются повышенные требования по функциональному развитию и интеграции.
- Предложен новый алгоритм для определения необходимого разрешения процедурных текстур в отображаемых сценах, который обеспечивает качественный рендеринг сложных сцен при существенном снижении требований к объему памяти и не избыточности вычислений.
- Предложен новый метод разработки и исполнения пользовательских расширений для рендер-систем на основе OpenCL C, который обеспечивает поддержку новых геометрических примитивов и моделей материалов.

Достоверность полученных результатов определяется проведенными для предложенных методов и алгоритмов теоретическим обоснованием, вычислительными экспериментами и комплексным сравнением с существующими альтернативными решениями. Выносимые на защиту результаты опубликованы в восьми изданиях перечня ВАК, в том числе изданиях из списка Web of Science и/или SCOPUS, а также апробированы на авторитетных конференциях и научных семинарах.

Практическая значимость работы обусловлена следующими положениями:

- Предложенная программная архитектура, разработанные методы и алгоритмы были программно реализованы и прошли валидацию в составе перспективной открытой системы фотореалистичного рендеринга Hydra Renderer.

- Результаты диссертационной работы были успешно применены при создании программного комплекса синтеза наборов изображений для приложений машинного обучения и компьютерного зрения.

Недостатки и замечания по диссертационной работе.


1. Несмотря на хороший общий стиль представления и изложения результатов работы, в тексте встречаются нестрогие термины и неудачные выражения, иногда вводящие читателя в заблуждение. Например, “потеря кроссплатформенности”, “передача структур данных”, “требование изменчивости параметров”, “транзакции, обеспечивающие целостность базы”, “регистрационное давление”.
2. Требования к открытой системе фотореалистичного рендеринга, в том числе и исключаящие друг друга, формулируются в абсолютной форме. По-видимому, следовало установить приоритеты, в соответствии с которыми должна проектироваться система, или указать степень релаксации требований, которая бы считалась приемлемой для целевой системы.
3. Описание архитектуры системы, механизмов взаимодействия и сценариев применения следовало бы сопроводить соответствующими UML-диаграммами. Использование стандартной визуальной нотации языка UML для проектов программной инженерии в настоящее время является общей практикой и, безусловно, способствовало бы наглядности и содержательности представления.
4. При сравнении с функционально близкими системами Pixar USD (Universal Scene Description) и Multiverse приводятся качественные суждения о сложности их практического применения и выносится вердикт в пользу разработанной системы Hydra Renderer. По-видимому, подобные выводы следовало бы подтверждать реальными оценками трудоемкости на основе выполненных проектов.
5. В работе указываются преимущества технологии Vulkan RTX, в том числе, обусловленные использованием BVH деревьев (иерархиями ограничивающих объемов) для локализации пересечений при трассировке лучей. Поддержка данной техники представляется возможной и в рамках представленной системы рендеринга, однако обсуждение данной возможности в работе отсутствует. Возможно, она планируется автором в качестве одной из оптимизаций системы.

Заключение. Указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационного исследования и не влияют на общую положительную оценку работы.

Научные положения, выводы и результаты работы являются обоснованными. Результаты работы полно представлены в публикациях. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа «Разработка расширяемой системы фотореалистичного рендеринга на GPU» удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Санжаров Вадим Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.5 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей».

Отзыв составил официальный оппонент **Семенов Виталий Адольфович**, доктор физико-математических наук по специальности 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», профессор, заведующий отделом «Системная интеграция и прикладные программные комплексы» Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт системного программирования им. В.П. Иванникова Российской академии наук», 109004, г. Москва, ул. А. Солженицына, дом 25, ИСП РАН.
E-mail: vital@ispras.ru, тел.: +7 (916) 235-49-82

«11» октября 2023 г. 

В.А. Семенов

Подпись Семенова В.А. удостоверяю:
Учёный секретарь ИСП РАН
к.т.н., Самоваров Олег Ильгисович



«11» октября 2023 г.