

УТВЕРЖДАЮ:

Директор Федерального
государственного учреждения
«Федеральный исследовательский
центр Институт прикладной
математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук»,
член-корреспондент РАН

А.И.Аптекарев



июня 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного учреждения

«Федеральный исследовательский центр

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

на диссертационную работу Санжарова В.В. «Разработка расширяемой системы фотореалистичного рендеринга на GPU», представленную на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук по специальности 2.3.5 «Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей»

Диссертация «Разработка расширяемой системы фотореалистичного рендеринга на GPU» выполнена в отделе №2 «Компьютерная графика и вычислительная оптика» Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук» в рамках совместных научно-исследовательских работ с лабораторией компьютерной графики и мультимедиа факультета Вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

В период подготовки диссертации соискатель Санжаров Вадим Владимирович работал старшим преподавателем в федеральном государственном автономном образовательном

учреждении высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», ведущим программистом (по совместительству) и впоследствии младшим научным сотрудником (по основному месту работы) в лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета Вычислительной математики и кибернетики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», научным сотрудником (по совместительству) в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

В 2008 году окончил бакалавриат, а в 2010 году магистратуру факультета автоматизации и вычислительной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» по направлению «информатика и вычислительная техника», специальность «интеллектуальные системы».

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана 21 марта 2022 года Федеральным государственным учреждением «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

Научный руководитель – Фролов Владимир Александрович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Оценка работы, выполненной соискателем ученой степени. Диссертационная работа Санжарова В.В. посвящена актуальной проблеме компьютерной графики – разработке программной архитектуры системы фотореалистичного синтеза изображений на GPU, позволяющей обеспечить низкую трудоемкость её интеграции с клиентскими приложениями и допускающей расширение функциональности рендер-системы. Проблема расширяемости программного обеспечения представляет собой фундаментальную задачу разработки программного обеспечения. Значительный объем усилий по разработке программ приходится на эволюционные изменения – добавление, удаление и изменение некоторой функциональности. Под расширяемостью программы понимают возможность выполнения таких изменений так, чтобы после их внесения не нарушалась работоспособность программы. В рамках разработки рендер-систем, автором рассматривается расширяемость путем интеграции с готовыми инструментами клиентских приложений и использования

пользовательского кода расширений на GPU без необходимости внесения изменений в существующий программный код рендер-системы и его полной перекомпиляции.

Соискателем была предложена новая архитектура рендер-системы с использованием дополнительного программного слоя на основе объектной базы данных, решающего задачи организации интеграции и инфраструктуры. Разработанная программная архитектура позволяет: изменять и добавлять новые модели компонентов 3D сцен без внесения изменений в код инфраструктурного слоя за счет их динамического представления; организовывать эффективную передачу данных между клиентским приложением и рендер-системой и организовать эффективную отладку и поиск ошибок за счет отслеживания изменений, производимых пользователем при работе над 3D сценой. Также соискателем был предложен алгоритм для оценки уровня детализации для предварительно рассчитанных процедурных текстур. Предложенный алгоритм реализует предварительный этап быстрого вспомогательного рендеринга сцены, на котором определяется разрешение каждой текстуры в сцене на основе модифицированного автором подхода определения mip-уровней. Алгоритм позволяет GPU рендер-системе поддерживать готовые инструменты процедурного текстурирования без внесения каких-либо изменений в код рендер-системы, а также уменьшить объем памяти, занимаемой текстурами. Кроме того, соискателем был предложен метод интеграции пользовательских расширений для процедурного текстурирования и новых геометрических примитивов в GPU рендер-системе на основе преобразований исходного кода расширений и архитектуры нескольких «убер-кernels» GPU рендер-системы. Все разработанные алгоритмы, методы и архитектурные решения были реализованы в составе открытой системы Hydra Renderer фотореалистичного рендеринга на GPU.

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в проведенное исследование. Результаты, представленные в работе, получены автором самостоятельно, являются новыми и представляют научный интерес.

Достоверность результатов, полученных соискателем, подтверждается публикациями в рецензируемых научных изданиях, а также апробацией на российских и международных конференциях и семинарах. Обоснованность результатов обеспечивается с помощью проведенной экспериментальной оценки результатов использования предложенных методов и алгоритмов при их интеграции в GPU рендер-систему с открытым исходным кодом, в которой был осуществлен рендеринг набора тестовых 3D сцен. Для предложенного алгоритма оценки разрешения прерасчитанных процедурных текстур была доказана теорема о том, что вычисленное разрешение позволяет достичь соотношения 1 текстель текстуры на 1 пиксель

синтезированного рендер-системой изображения. Для предложенной программной архитектуры и метода разработки пользовательских расширений также было проведено сравнение результатов с аналогами.

Научная новизна. Предложена новая архитектура рендер-системы с использованием дополнительного программного слоя, реализующего концепцию объектной базы данных с возможностями системы управления версиями и стратегией отсутствия перезаписи при внесении изменений. Предложенная программная архитектура позволяет: работать с 3D сценами, не помещающимися в оперативную память вычислительной машины пользовательского приложения, изменять и добавлять новые модели материалов, источников света и других компонентов 3D сцен без внесения изменений в код инфраструктурного слоя; выполнять импорт и экспорт компонентов 3D сцен между разными сценами и различными приложениями; отслеживать изменения, производимые в сцене пользователем, что обеспечивает эффективную передачу данных и отладку и поиск ошибок. Предложен новый метод для исполнения пользовательского кода расширений GPU рендер-системы, позволяющий модифицировать отдельные этапы процесса синтеза изображений с использованием кода расширений без необходимости внесения изменений в существующий программный код рендер-системы и его полной перекомпиляции. Разработан алгоритм оценки уровня детализации для предварительно рассчитанных процедурных текстур на основе модифицированного автором подхода определения mip-уровней, позволяющий поддерживать инструменты процедурного текстурирования, реализованные в клиентских приложениях, и достичь экономии памяти в 1.6-4 раза для текстур-изображений без видимых потерь качества.

Практическая и теоретическая значимость работы. Разработанная программная архитектура и алгоритмы были реализованы в составе открытой GPU системы фотореалистичного рендеринга Hydra Render, разрабатываемой в отделе «Компьютерная графика и вычислительная оптика» Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук». Возможности предложенной архитектуры дополнительного программного слоя позволили обеспечить интеграцию рендер-системы с рядом программных продуктов: пакетом 3D моделирования Autodesk 3ds max, программным продуктом для светодизайна LightCAD компании «Интилед», программным продуктом 3D моделирования с открытым исходным кодом Blender. Разработанный метод исполнения пользовательских расширений апробирован для создания процедурных текстур для синтеза обучающих данных для задач компьютерного зрения в рамках проекта «Совместный исследовательский центр

МГУ-Самсунг по компьютерному зрению» в лаборатории компьютерной графики и мультимедиа факультета ВМК МГУ имени М.В. Ломоносова. При этом интеграция компонентов программного комплекса была осуществлена с использованием предложенной архитектуры дополнительного программного слоя. Проведено сравнение разработанного подхода с конкурирующими решениями создания расширений для GPU рендер-систем, показавшее состоятельность предложенных подходов.

Соответствие диссертации специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности (ПС) 2.3.5 – математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей. Работа посвящена разработке программной архитектуры GPU рендер-системы, решающей задачи организации интеграции и инфраструктуры (направления 3 и 7 ПС). Был предложен и реализован метод разработки и исполнения кода пользовательских расширений в GPU рендер-системе (направления 1 и 2 ПС). Предложен и реализован алгоритм оценки разрешения предрассчитанных процедурных текстур (направление 7 ПС). Диссертационная работа написана на высоком научном уровне.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных автором. Диссертация соответствует требованиям, установленным пунктом 14 положения о присуждении учёных степеней. Основные результаты диссертационной работы были доложены и опубликованы в трудах международных конференций, таких как конференция по компьютерной графике и машинному зрению «Графикон», International Conference on Computer Graphics, Visualization, Computer Vision and Image Processing (CGVCVIP). Основные положения и результаты диссертации отражены в 8 печатных работах в рецензируемых журналах перечня ВАК. Ссылки на все печатные работы, в которых опубликованы результаты, приведены в диссертации в соответствующем подпункте в разделе «Введение».

Список публикаций:

1. Санжаров В.В., Фролов В.А. Исследование масштабируемости распределённых рендер-систем на основе алгоритмов адаптивной трассировки путей и Metropolis Light Transport в гетерогенных сетях. // *Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша*. — 2016. — № 114. — С. 1–22. — DOI: 10.20948/prepr-2016-114
2. Санжаров В.В., Фролов В.А. Современные проблемы интеграции в приложениях компьютерной графики и пути их решения. // *Программирование*. — 2018. — № 4. — С. 36-45. — DOI: 10.31857/S013234740000699-3

- English translation: Frolov V.A., Sanzharov V.V. Modern problems of software integration in computer graphics applications and ways to solve them // Programming and Computer Software. — 2018. — Vol. 44, no. 4. — P. 233–239. — DOI: 10.1134/S0361768818040060*
3. Санжаров В.В., Фролов В.А. Уровень детализации для предрасчитанных процедурных текстур // Программирование. — 2019. — № 4. — С. 54–63. — DOI: 10.1134/S0132347419040071
English translation: Sanzharov V.V., Frolov V.A. Level of detail for precomputed procedural textures // Programming and Computer Software. — 2019. — Vol. 45, no. 4. — P. 187–195. — DOI: 10.1134/s0361768819040078
 4. V. Sanzharov, V. Frolov, I. Pavlov Restricted Extensions for GPU Photo-realistic Renderer // CEUR Workshop Proceedings. — 2019. — Vol. 2485. — P. 37–42. — DOI: 10.30987/graphicon-2019-2-37-42
 5. Фаизов Б.В., Шахуро В.И., Санжаров В.В., Конушин А.С. Классификация редких дорожных знаков // Компьютерная оптика. — 2020. — Т. 44, № 2. — С. 236–243. — DOI: 10.18287/2412-6179-co-601
 6. Санжаров В.В., Фролов В.А., Волобой А.Г., Галактионов В.А., Павлов Д.С. Система генерации наборов изображений для задач компьютерного зрения на основе фотореалистичного рендеринга // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. — 2020. — № 80. — С. 1–29. — DOI: 10.20948/prepr-2020-80
 7. Санжаров В.В., Фролов В.А., Галактионов В.А. Исследование технологии RTX // Программирование. — 2020. — № 4. — С. 65–72. doi: 10.31857/S0132347420030061
English translation: Sanzharov V. V., Frolov V. A., Galaktionov V. A. Survey of nvidia RTX technology // Programming and Computer Software. — 2020. — Vol. 46, no. 4. — P. 297–304. — DOI: 10.1134/s0361768820030068
 8. Frolov V., Faizov B., Shakhuro V., Sanzharov V., Konushin A., Galaktionov V., Voloboy A. Image Synthesis Pipeline for CNN-Based Sensing Systems // Sensors. — 2022. — Vol. 22, №. 6. — p. 2080. — DOI: 10.3390/s22062080

Диссертационная работа Санжарова Вадима Владимировича «Разработка расширяемой системы фотореалистичного рендеринга на GPU» удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, выдвигаемым на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, рекомендуется к защите по специальности 2.3.5 – математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей, на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук».

Заключение принято на расширенном заседании научного семинара направления «Программирование» им. М.Р. Шура-Бура в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Присутствовало на заседании 18 чел. Результаты голосования: «за» - 18 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет, протокол № 9 от «10» декабря 2020 г.

Руководитель семинара,
зав. информационно-издательским отделом,
д.ф.-м.н.



М.М. Горбунов-Посадов

1 июня 2023 г.