

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Гонахчяна В.И. "Адаптивная стратегия рендеринга динамических трёхмерных сцен", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Актуальность темы

Диссертация Гонахчяна В.И. посвящена решению актуальной задачи рендеринга динамических трёхмерных сцен. Данная задача возникает при визуализации сцен в различных областях: 4D-моделирование в строительстве, симуляторы, игровые приложения, виртуальная реальность и др. В процессе визуализации динамических сцен может сильно изменяться нагрузка на центральный процессор и видеокарту. Это связано с тем, что во время анимации добавляются и удаляются объекты, изменяется их положение и параметры материалов. Необходимо вовремя обновлять пространственные индексы и загружать на видеокарту буфера, задающие параметры отображаемых объектов. В диссертации описаны существующие и разработаны новые базовые методы, позволяющие сократить затраты на выполнение задач рендеринга при обработке объектов на центральном процессоре и видеокарте. Целесообразно использовать разные методы в зависимости от характеристик динамической сцены, таких как количество отображаемых объектов, количество подвижных объектов в сцене. Для этого в диссертации предлагается использовать комбинированную стратегию, осуществляющую выбор наиболее эффективных базовых методов, используемых для сокращения затрат на этапах рендеринга.

Научная новизна

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложена модель производительности графического конвейера для однопроходной схемы рендеринга динамических трёхмерных сцен. Выведены формулы, позволяющие рассчитать время рендеринга с использованием рассматриваемых базовых методов. Также модель позволяет оценить потребляемую память, когда применяются различные техники буферизации команд.
2. Предложена адаптивная стратегия рендеринга динамических трёхмерных сцен. Определены способы, позволяющие повысить производительность рендеринга в зависимости от текущих вычислительных затрат при

выполнении рендеринга. Выведены формулы, позволяющие выбрать способ рендеринга для достижения эффективного и сбалансированного выполнения этапов графического конвейера.

3. Предложен многопараметрический метод генерации динамических трехмерных сцен. Параметры метода задают конфигурацию возводимых зданий, размер сетки, допускают добавление объектов, расположенных в зданиях. Это позволяет генерировать трехмерные сцены с различным количеством объектов, перекрытий, графических элементов. Время вывода объектов задается с помощью кривых, заполняющих пространство.

Структура и содержание работы

Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Во *введении* приводятся примеры предметных областей применения рендеринга, показывающие практическую значимость и актуальность выбранной темы. Описываются распространенные методы рендеринга и проблемы, возникающие при отображении динамических трёхмерных сцен. Обосновывается то, что для эффективной визуализации целесообразно выполнять оценку производительности и выбор подходящих методов в процессе анимации.

В *первой главе* приводится подробный обзор существующих методов рендеринга трёхмерных сцен, опирающихся на использование аппаратных возможностей современных GPU. Проводится обзор современных программных интерфейсов GPU и методов пространственного индексирования. Делаются выводы, на основе которых выбраны базовые методы, применяющиеся в рамках стратегии рендеринга.

Во *второй главе* предлагается модель производительности графического конвейера, которая затем используется для оценки времени формирования кадра. Описывается генерация тестовых наборов данных, используемых для вычисления значений параметров модели на компьютере пользователя.

В *третьей главе* описываются предложенные методы. В *разделе 3.1* предложена новая техника составления командных буферов, которая реализована с использованием программного интерфейса Vulkan. Интерфейс Vulkan является наиболее актуальным и низкоуровневым средством программирования современных GPU процессоров.

В *разделе 3.2* предложен новый метод отбраковки невидимых объектов на основе аппаратных проверок видимости. За счет проверок видимости ограничивающих параллелепипедов, задающих границы узлов окто-дерева, можно быстро определять видимость объектов, содержащихся внутри узлов. Однако на

выполнение самих аппаратных проверок расходуются вычислительные ресурсы, поэтому возникает вопрос об их эффективном применении. Получены формулы для вычисления количества аппаратных проверок, которое позволяет сократить вычислительные затраты.

В *разделе 3.3* предложена адаптивная стратегия рендеринга, которая производит выбор существующих и разработанных методов и техник в процессе отображения динамической сцены для эффективного рендеринга.

В *разделе 3.4* предложен новый метод генерации синтетических тестовых сцен, предназначенный для тестирования предложенных методов в различных условиях под нагрузкой.

В *четвертой главе* описывается программная реализация методов, предложенных в диссертации.

В *пятой главе* приводятся результаты вычислительных экспериментов для подтверждения эффективности предложенной стратегии, разработанных методов и модели производительности графического конвейера.

В *заключении* приведены основные результаты работы.

Практическая значимость

Разработанные методы можно использовать для повышения эффективности рендеринга при визуализации сложных строительных проектов. Также выполнена реализация графической библиотеки, используемой в составе программы по визуальному планированию и сопровождению проектов. Тестирование производительности показало, что достигается прирост производительности от 2 до 9 раз по сравнению со средствами трехмерной визуализации, используемыми в этом программном пакете ранее.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов работы

Достоверность результатов работы подтверждается апробацией основных результатов на 4 научных конференциях. По теме диссертации автором было опубликовано 7 статей, 2 из которых опубликованы в изданиях из списка ВАК, 3 входят в систему цитирования Scopus, 1 – в систему Web of Science. Выбор базовых методов и техник, используемых в рамках адаптивной стратегии, сделан после проведения сравнительного анализа существующих методов. Эффективность предложенной стратегии и вспомогательных методов подтверждается вычислительными экспериментами.

Замечания

В целом диссертация Гонахчяна В.И. написана понятным языком и производит положительное впечатление. Однако работа обладает определенными недостатками:

1. В разделе 1.5 делается вывод о том, что для динамических сцен наиболее целесообразным является использование однопроходной схемы рендеринга. Однако применение такой схемы не всегда возможно. Например, отображение теней при помощи метода карт теней или каскадных карт теней (что для разномасштабных сцен является на сегодняшний день де-факто стандартным методом рендеринга теней) требует как минимум два прохода (а в случае каскадов может потребовать и более двух проходов с разными параметрами камеры). Демонстрация разработанной адаптивной стратегии рендеринга в сочетании с каскадными картами теней могла бы говорить о более широкой применимости результатов работы.
2. Гонахчян В.И. в своей работе предлагает методы на основе подхода по растеризации графических элементов. Однако развитие GPU процессоров в последние годы свидетельствует о всё более частом совместном применении растеризации и трассировки лучей. Поскольку спроецированный размер треугольников в представленных сценах во многих случаях меньше пиксела, а большинство объектов скрыто внутри зданий, трассировка лучей при определении первичной видимости может дать большую производительность, чем растеризация. Выбранный метод пространственного индексирования на основе окто-дерева с этой точки зрения является не лучшим решением, поскольку он плохо подходит для трассировки лучей и, таким образом, ограничивает универсальность разработанного программного решения.

Указанные недостатки, тем не менее, не влияют на общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертационная работа Гонахчяна В.И. выполнена на высоком научном уровне и обладает высокой практической ценностью. Результаты диссертации полно представлены в его публикациях и правильно отражены в автореферате.

Таким образом, диссертационная работа “Адаптивная стратегия рендеринга динамических трёхмерных сцен” соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Гонахчян Вячеслав Игоревич, заслуживает присуждения ему ученой

степени кандидата технических наук по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Официальный оппонент,
старший научный сотрудник
ИПМ им. М.В.Келдыша РАН,
к.ф.-м.н.

12 мая 2021

В.А. Фролов

Подпись В.А. Фролова заверяю,
Ученый секретарь
ИПМ им. М.В.Келдыша РАН
к.ф.-м.н.

А.А. Давыдов