

## ОТЗЫВ

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

Диссертация посвящена решению **актуальной** задачи по эффективному выполнению рендеринга динамических трехмерных сцен с использованием современных видеокарт. Это востребовано во многих предметных областях, таких как системы автоматизированного проектирования, виртуальная и дополненная реальность, компьютерная анимация и др. Наиболее распространенные методы позволяют сократить объем вычислений в процессе рендеринга за счет сохранения информации о видимости объектов из разных областей пространства. Однако они применимы только к статическим сценам. При обработке динамических сцен в процессе анимации происходит изменение множества отображаемых объектов и их параметров. Для эффективного рендеринга важно сбалансированное использование вычислительных ресурсов процессора и видеокарты. Это достигается за счет своевременного выбора и использования различных базовых методов и техник рендеринга в процессе отображения динамической сцены.

В диссертации Гонахчяна В.И. представлены следующие **новые научные результаты**:

- 1) модель производительности графического конвейера для однопроходной схемы рендеринга динамических трехмерных сцен;
- 2) адаптивная стратегия рендеринга динамических трехмерных сцен;
- 3) метод генерации динамических трехмерных сцен.

Модель производительности предназначена для вычисления требуемых ресурсов для отображения динамических трехмерных сцен. Новизна заключается в получении формул для оценки времени рендеринга с использованием методов в

рамках однопроходной схемы рендеринга, а также затрачиваемой памяти при применении различных техник составления командных буферов.

Адаптивная стратегия рендеринга реализует выбор различных базовых методов и техник рендеринга в процессе отображения динамической сцены. Во-первых, предложены новые техники в рамках однопроходной схемы рендеринга, которые предназначены для сокращения затрат на запись команд, количества графических элементов, обрабатываемых на видеокарте. Во-вторых, разработаны критерии выбора способов реализации однопроходной схемы рендеринга на основе модели производительности графического конвейера в процессе отображения динамической сцены.

Метод генерации динамических сцен предназначен для создания синтетических сцен с различным количеством графических элементов. Применяются кривые, заполняющие пространство, для определения порядка и времени появления объектов в сцене. Это также позволяет выводить объекты с различной степенью пространственно-временной когерентности. Метод может использоваться при тестировании производительности программных реализаций методов рендеринга динамических сцен.

Приведенные научные результаты описаны в диссертации следующим образом. Во второй главе предложена модель производительности графического конвейера. В разделе 2.1 описаны этапы графического конвейера, которые включают отбраковку невидимых объектов с помощью пирамиды обзора, запись и отправку команд рендеринга, обработку графических элементов на видеокарте. В разделе 2.2 описана исследуемая схема однопроходного рендеринга, задающая способы рендеринга динамических сцен, производительность которых проанализирована в диссертации. В остальных разделах приведены формулы для оценки требуемого объема памяти и времени рендеринга на центральном процессоре и видеокарте в рамках рассматриваемой схемы.

В третьей главе описаны предложенные методы. В разделе 3.1 предложена техника фрагментации и кэширования командных буферов, содержащих команды рендеринга для объектов в узлах окто-дерева. Она позволяет сократить время записи команд рендеринга в случае локальных изменений в сцене. В разделе 3.2

приведен метод отбора узлов окто-дерева для эффективного выполнения аппаратных проверок видимости. Для оценки вычислительных затрат используется модель производительности рендеринга. В разделе 3.3 предложена адаптивная стратегия рендеринга, которая использует описанные в предыдущих разделах методы. В разделе 3.4 предложен метод генерации динамических сцен, с помощью которого были получены синтетические тестовые наборы, используемые в вычислительных экспериментах.

**Достоверность и обоснованность** полученных научных результатов и выводов подтверждается большим количеством вычислительных экспериментов, которые показывают эффективность разработанной стратегии рендеринга и целесообразность применения предложенной модели производительности для оценки затрачиваемых ресурсов при выполнении рендеринга различных синтетических и реальных индустриальных сцен.

**Теоретическая и практическая значимость** рассматриваемой работы заключается в следующем. Предложенную модель производительности можно использовать при разработке новых методов рендеринга динамических трехмерных сцен. Предложенные методы реализованы в рамках графической библиотеки, решающей задачи по выполнению рендеринга динамических трехмерных сцен и включенной в состав программы для визуального моделирования и планирования строительных проектов.

В качестве **замечаний** можно отметить следующее:

- 1) Предложенный способ оценки количества пикселей, покрываемых объектами сцены, является приближенным, и зависит от порядка обхода объектов. Реальное количество обрабатываемых на видеокarte пикселей может быть сокращено за счет раннего выполнения проверки глубины.
- 2) В диссертации представлен только один тестовый набор сцен с текстурами. Было бы интересно посмотреть на результаты тестирования модели производительности при выполнении рендеринга сцен с большим количеством текстур.

Приведенные замечания, не ставят под сомнение ценность работы в целом.

Диссертационная работа Гонахчяна Вячеслав Игоревича является законченным исследованием, выполненным самостоятельно на актуальную тему и на высоком научном уровне. Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание и основные положения. Исследование обладает высокой практической и научной значимостью, что подтверждается полученными результатами. Результаты достаточно полно отражены в опубликованных статьях. Проведена апробация результатов на 4-х научных конференциях. По теме диссертации опубликовано 7 работ, в том числе три работы опубликованы в изданиях, индексируемых международной базой цитирования Scopus. Одна статья входит в индекс цитирования Web Of Science. Две статьи опубликованы в журналах из списка рекомендованных изданий ВАК РФ.

Диссертационная работа “Адаптивная стратегия рендеринга динамических трёхмерных сцен” удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, 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,

Заведующий отделом программных средств визуализации

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН,

д.ф.-м.н., профессор

М.В. Михайлюк

27.04.2021

Подпись М.В. Михайлюка заверяю,

Заместитель директора по научной и методической работе

ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН,

к.ф.-м.н.

А.А. Прилипко