

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

Факультет компьютерных наук
Департамент программной инженерии

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Доцент департамента больших данных и
информационного поиска факультета
компьютерных наук

Академический руководитель
образовательной программы
«Программная инженерия»

_____ Е. О. Кантонистова
« ____ » _____ 2024 г.

_____ Н. А. Павлов
« ____ » _____ 2024 г.

3D RENDERER С НУЛЯ

Техническое задание

Лист УТВЕРЖДЕНИЯ

RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1-ЛУ

Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл	

Исполнитель: Студент группы БПИ 216
_____ Г. А. Сабаев
« ____ » _____ 2024 г.

УТВЕРЖДЁН
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1-ЛУ

3D RENDERER С НУЛЯ

Техническое задание

RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1

Листов 15

Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Содержание

1	Введение	3
1.1	Наименование программы	3
1.2	Краткая характеристика области применения	3
2	Основание для разработки	4
3	Назначение разработки	5
3.1	Функциональное назначение	5
3.2	Эксплуатационное назначение	5
4	Требования к программе	6
4.1	Требования к функциональным характеристикам	6
4.2	Требования к временным характеристикам	8
4.3	Требования к интерфейсу	9
4.4	Требования к надежности	9
4.5	Условия эксплуатации	9
4.6	Требования к составу и параметрам технических средств	9
4.7	Требования к информационной и программной совместимости	10
4.8	Требования к составу сетевых средств	10
4.9	Требования к маркировке и упаковке	10
4.10	Требования к транспортировке и хранению	10
5	Требования к программной документации	11
6	Технико-экономические показатели	12
6.1	Ориентировочная экономическая эффективность	12
6.2	Предполагаемая потребность	12
6.3	Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами	12
7	Стадии и этапы разработки	13
8	Порядок контроля и приемки	14

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

1. Введение

1.1. Наименование программы

1.1.1. Наименование программы на русском языке

«3D Renderer с Нуля»

1.1.2. Наименование программы на английском языке

«3D Renderer from Scratch»

1.1.3. Краткое наименование программы

«Renderer»

1.2. Краткая характеристика области применения

Стандартной практикой для приложений, работающих с 3D, является использование видеокарты (GPU). Такой подход имеет, как главное преимущество, исключительно быструю скорость работы, что крайне важно для крайне ресурсоемких приложений, отрисовывающих десятки кадров в секунду в режиме реального времени.

Популярные драйверы для GPU поддерживают API, такие как OpenGL или Vulkan, которые заключаются в передаче видеокарте шейдерного кода, который будет скомпилирован и выполнен самой видеокартой. Этот подход увеличивает производительность и предоставляет высокоуровневый фреймворк пользователю API, но скрывает множество низкоуровневых деталей пайплайна отрисовки.

«Renderer» - программа для отрисовки 3D-сцен на монитор компьютера, реализующая все вычисления на ЦПУ. Разработка программы производится для образовательных целей, и весь процесс отрисовки изображения реализуется с нуля в программном коде. Такой подход позволяет разобраться в относительно низкоуровневых процессах и алгоритмах 3D-рендеринга, которые обычно скрыты для пользователя.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

2. Основание для разработки

Основанием для разработки является учебный план подготовки бакалавров по направлению 09.03.04 «Программная инженерия» и утвержденная академическим руководителем тема курсового проекта.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

3. Назначение разработки

3.1. Функциональное назначение

Функциональным назначением «Renderer» является отрисовка интерактивной 3D сцены на экране с точки зрения находящейся в этой сцене камеры.

«Renderer» должен состоять из двух частей - библиотека с реализацией пайплайна 3D-отрисовки и интерактивное приложение. Библиотека должна предоставлять методы и классы для создания, модификации и отрисовки 3D сцены. Приложение должно выводить на экран изображение сцены и выполнять движение и поворот камеры в пространстве в ответ на пользовательский ввод.

3.2. Эксплуатационное назначение

Данное приложение может быть использовано в образовательных целях, для изучения внутреннего устройства алгоритмов и техник 3D рендеринга, лежащих в основе методов, которые реализованы в графических ускорителях.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

4. Требования к программе

4.1. Требования к функциональным характеристикам

4.1.1. Состав выполняемых функций

- 1) Программа должна разделяться на библиотеку и интерактивное приложение;
- 2) Библиотека должна предоставлять класс сцены;
- 3) Сцена должна хранить набор (возможно пустой) источников направленного света;
- 4) Источник направленного света должен хранить направление и интенсивность;
- 5) Сцена должна хранить набор (возможно пустой) объектов сцены, называемых корневыми;
- 6) Объект сцены должен хранить набор (возможно пустой) дочерних объектов;
- 7) Объект сцены должен хранить свое положение в пространстве относительно объекта-предка для которого он является дочерним (глобальные координаты если объект корневой);
- 8) Матрицы позиций всех объектов сцены в глобальных координатах должны кешироваться до следующей модификации;
- 9) Объект должен хранить точечный источник света (если он указан для данного объекта).
- 10) Точечный источник света должен хранить дальность и интенсивность;
- 11) Объект должен хранить 3D-модель (если она указана для данного объекта).
- 12) 3D-модель должна хранить набор треугольных полигонов.
- 13) Полигон должен хранить 3 точки с вещественными координатами, представляющими собой его вершины.
- 14) Полигон должен хранить 3 нормальных вектора, по одному для каждой его вершины.
- 15) 3D-модель должна хранить шейдер.
- 16) Библиотека должна предоставлять пользователю возможность создавать собственные шейдеры как пользовательские классы;
- 17) Библиотека должна предоставлять пользователю класс, реализующий минималистичный шейдер по модели Блинна-Фонга;
- 18) Библиотека должна предоставлять интерфейс работы с треугольным полигоном:
 - возможность создания полигона;
 - возможность задания нормальных векторов в каждой вершине полигона;
 - возможность добавления полигона к модели;
- 19) Библиотека должна предоставлять интерфейс работы с 3D моделью:
 - возможность создания модели;

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

- возможность задания шейдера модели;
- возможность добавления полигона к модели;
- возможность загрузки модели из файла формата .obj;
- возможность изменения данных модели напрямую с помощью кода;

20) Библиотека должна предоставлять интерфейс работы с объектом:

- возможность изменения относительного положения объекта в пространстве;
- возможность добавления 3D-модели к объекту;
- возможность добавления точечного источника света к объекту;

21) Библиотека должна предоставлять интерфейс работы со сценой:

- возможность создания сцены;
- возможность добавления источника направленного света;
- возможность добавления корневого объекта;
- возможность удаления источника направленного света;
- возможность удаления корневого объекта;
- возможность итерирования по иерархии объектов сцены;

22) Библиотека должна предоставлять класс, представляющий собой камеру.

23) Камера должна хранить разрешение экрана.

24) Камера должна хранить вертикальный угол обзора.

25) Камера должна хранить свои координаты в глобальном пространстве.

26) Библиотека должна предоставлять интерфейс работы с камерой:

- возможность задания разрешения;
- возможность задания угла обзора (field of view);
- возможность задания положения в пространстве;
- функцию перевода точки из глобальных координат в NDC (Normalized Device Coordinates) конкретной камеры;

27) Библиотека должна предоставлять класс-функтор рендерера, который должен:

- принимать сцену и камеру;
- переводить все объекты в NDC с помощью камеры;
- для каждого пикселя определять ближайший к камере полигон (если он есть) путем отрисовки всех полигонов с помощью z-буфера.
- для каждого пикселя вычислять информацию о его позиции на полигоне (uv-координаты).
- для каждого пикселя вычислять информацию о его освещенности.
- передавать информацию о каждом пикселе и данных о нем в соответствующий шейдер;

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

- окрашивать каждый пиксель изображения в цвет, возвращаемый шейдером;
 - возвращать изображение сцены с точки зрения камеры в формате RGBA32;
- 28) Класс-функтор рендера должен хранить все внутренние буферы как внутренние поля (во избежание множества выделений памяти каждый кадр);
- 29) Приложение должно выводить на экран окно;
- 30) Приложение должно заполнять внутреннее пространство окна изображением-результатом рендеринга сцены с точки зрения камеры;
- 31) Приложение должно предоставлять возможность пользователю управлять вращением камеры посредством захвата курсора мыши;
- 32) Приложение должно предоставлять возможность пользователю передвигать камеру с помощью клавиш клавиатуры;
- 33) Приложение должно обновлять изображение сцены на экране в соответствии с движением камеры и/или объектов сцены.
- 34) Приложение должно использовать максимально полный набор возможностей библиотеки (включая реализованный доп. функционал) для наилучшей демонстрации реализованных функций.

4.1.2. Дополнительный функционал

В качестве дополнительного функционала программы выступает:

- 1) возможность рендеринга в HDR (High Dynamic Range);
- 2) возможность перевода изображения из HDR в RGBA32 с помощью приближенной реализации ACES за авторством Krzysztof Narkowicz;
- 3) возможность применения эффекта Bloom к изображению;
- 4) возможность загрузки произвольной сцены из файла;

4.1.3. Организация входных данных

Приложение в качестве входных данных получает нажатия клавиш клавиатуры пользователя и движения курсора.

4.1.4. Организации выходных данных

Приложение в качестве выходных данных выводит на экран изображение сцены с точки зрения камеры пользователя.

4.2. Требования к временным характеристикам

Требований к временным характеристикам нет.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

4.3. Требования к интерфейсу

Классы и методы, предоставляемые библиотекой, описаны в секции "Состав выполняемых функций"

Интерфейс приложения представляет собой одно окно, заполненное изображением сцены. При нажатии на окно программа прячет курсор и перехватывает движения мыши для управления вращения камеры.

4.4. Требования к надежности

4.4.1. Требования к обеспечению надежного (устойчивого) функционирования программы

Требования к обеспечению надежного (устойчивого) функционирования программы совпадают с требованиями к обеспечению надежного (устойчивого) функционирования программы устройства, на котором выполняется программа.

4.4.2. Время восстановления после отказа

Время восстановления после отказа, вызванного сбоем электропитания или не фатальным сбоем операционной системы, не должно превышать времени, необходимого на перезагрузку ОС и запуск программы. Время восстановления после отказа, вызванного неисправностью технических средств или операционной системы не должно превышать времени, требуемого на устранение неисправностей.

4.4.3. Отказы из-за некорректных действий оператора

Отказы программы возможны вследствие некорректных действий оператора (пользователя) при взаимодействии с операционной системой. Во избежание возникновения отказов программы по указанной выше причине следует обеспечить работу конечного пользователя без предоставления ему привилегий администратора.

4.5. Условия эксплуатации

4.5.1. Климатические условия

Климатические условия сопадают с климатическими условиями эксплуатации устройства.

4.5.2. Требования к пользователю

Пользователь приложения должен иметь понимание того как работать с операционной системой и устройством на которых запущена программа.

4.6. Требования к составу и параметрам технических средств

Для корректной работы программы необходимо устройство с не менее чем 2 ГБ оперативной памяти и наличием дисплея, мыши и клавиатуры. При условии выполнения Требований к информационной и программной совместимости других ограничений не присутствует; однако для повышения частоты кадров рекомендуется устройство с процессором, по производительности эквивалентном или превосходящем Intel® Core™ i7-5500U.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

4.7. Требования к информационной и программной совместимости

Приложение должно быть написано на языке C++ версии C++20, успешно компилироваться с помощью компиляторов MSVC и GCC при условии наличия CMake версии $\geq 3.28.1$, Conan2 версии $\geq 2.0.17$, корректной работы библиотек Eigen3 версии $\geq 3.4.0$ и SFML версии $\geq 2.6.1$ для целевой платформы. Приложение должно использовать clang-tidy версии ≥ 10 , clang-format версии ≥ 10 .

4.8. Требования к составу сетевых средств

У устройства должен быть доступ к сети интернет для скачивания и установки приложения.

4.9. Требования к маркировке и упаковке

Программа распространяется в виде электронного пакета, содержащего программную документацию и приложение.

4.10. Требования к транспортировке и хранению

Приложение должно размещаться на платформе GitHub и иметь возможность быть загруженной оттуда потенциальным пользователем.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

5. Требования к программной документации

В состав программной документации должны входить следующие компоненты:

- 1) Техническое задание (ГОСТ 19.201-78)
- 2) Программа и методика испытаний (ГОСТ 19.301-78)
- 3) Пояснительная записка (ГОСТ 19.404-79)
- 4) Руководство оператора (ГОСТ 19.505-79)
- 5) Текст программы (ГОСТ 19.401-78)

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

6. Технико-экономические показатели

6.1. Ориентировочная экономическая эффективность

Экономическая эффективность в рамках курсового проекта не предусмотрена.

6.2. Предполагаемая потребность

Данный продукт могут использовать разработчики во время изучения 3D-рендеринга.

6.3. Экономические преимущества разработки по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами

В рамках данного задания экономические преимущества по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами не предусмотрена.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

7. Стадии и этапы разработки

1) техническое задание:

- этапы разработки:
 - а) обоснование необходимости разработки программы;
 - б) постановка задачи;
 - в) сбор исходных материалов;
 - г) выбор и обоснование критериев эффективности и качества разрабатываемой программы;
 - д) обоснование необходимости проведения научно-исследовательских работ;
- разработка и утверждение технического задания:
 - а) определение требований к программе;
 - б) определение стадий, этапов и сроков разработки программы и документации на неё;
 - в) согласование и утверждение технического задания;

2) технический проект:

- разработка технического проекта:
 - а) уточнение структуры входных и выходных данных;
 - б) разработка алгоритма решения задачи;
 - в) определение формы представления входных и выходных данных;
 - г) разработка структуры программы;
 - д) окончательное определение конфигурации технических средств.
- утверждение технического проекта:
 - а) разработка пояснительной записки;
 - б) согласование и утверждение технического проекта.

3) рабочий проект:

- разработка программы:
 - а) программирование и отладка программы.
- разработка программной документации:
 - а) разработка программных документов в соответствии с требованиями гост 19.101-77.
- испытания программы:
 - а) разработка, согласование и утверждение порядка и методики испытаний;
 - б) корректировка программы и программной документации по результатам испытаний.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

8. Порядок контроля и приемки

Контроль и приемка разработки осуществляются в соответствии с документом «Программа и методика испытаний».

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
RU.17701729.05.01-01 ТЗ 01-1				
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата

Лист регистрации изменений

[illegible]