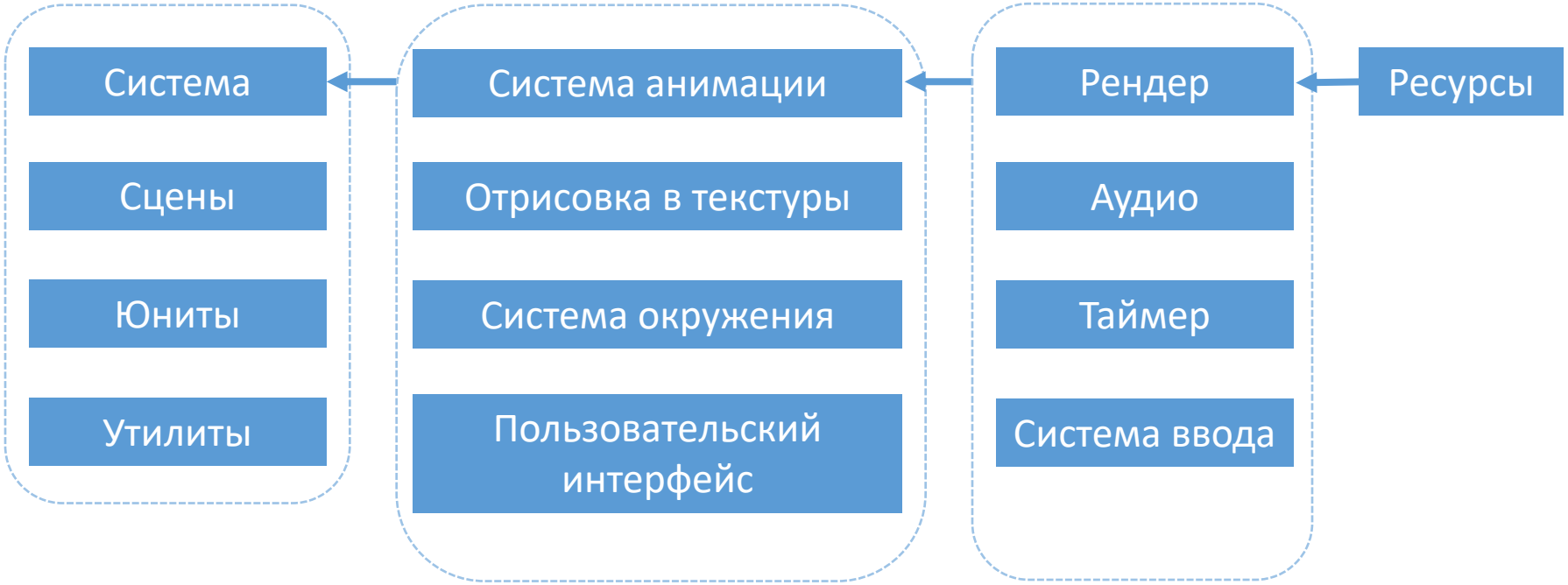
Разработка и реализация системы моделирования и визуализации пейзажей

Худяков Тимофей 08-4 класс
Посудин Савва 09-1 класс
Егоров Борис 09-3 класс
Ильясов Александр 09-3 класс
Павлов Ефим 09-4 класс
Федорич Ирина 09-4 класс
Чепурных Денис 09-6 класс
Витман Илья 10-2 класс
Новиков Александр 10-5 класс
Пашков Иван 10-5 класс
Петров Тимофей 10-5 класс
Тюрина Анастасия 10-5 класс
Голубов Владислав 10-6 класс
Кириллов Дмитрий 10-6 класс
Мустафин Марат 10-6 класс
Резников Иван 10-6 класс
Топунов Антон 10-6 класс
Фисунова Лидия 10-6 класс

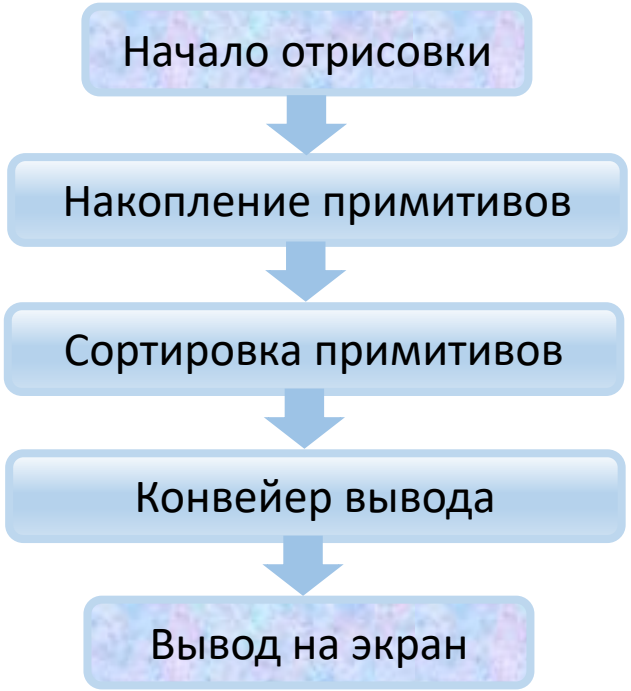
Научный руководитель: Галинский В.А., руководитель группы компьютерной графики,
преподаватель информатики и программирования СПб губернаторского физико-математического лицея № 30

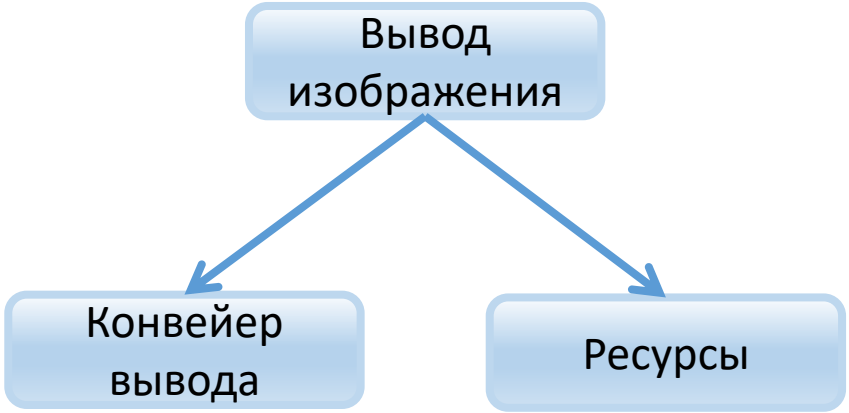
Computer Graphics Support Group
Санкт-Петербургский губернаторский физико-математический лицей № 30

Структура проекта

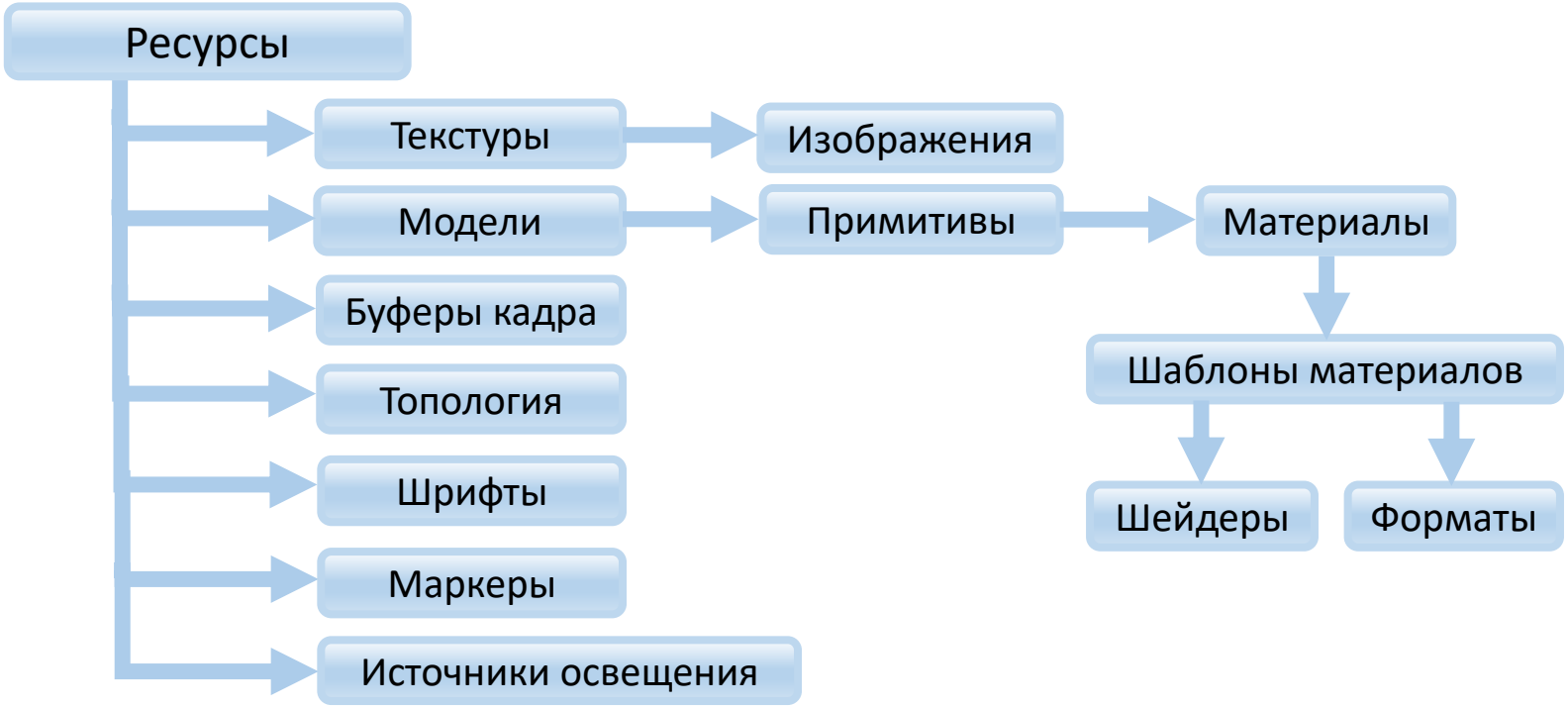


Система вывода. Общая схема





Ресурсы


Ресурсы
Текстуры
Изображения
Модели
Примитивы
Материалы
Буферы кадра
Шаблоны материалов
Топология
Шрифты
Шейдеры
Форматы
Маркеры
Источники освещения

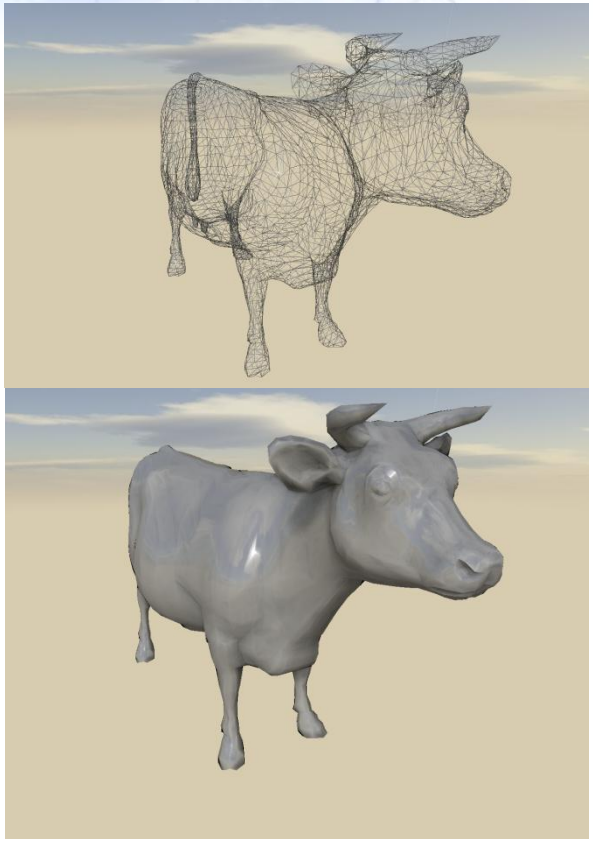
Ресурсы. Примитивы

Примитив

- Тип примитива
- Материал
- Буфер вершин
  Буфер индексов
  Массив атрибутов вершин
  Id примитива
- Количество элементов
  Количество точек тесселяции
- Данные кадра (массив матриц, количество инстансов, номер кадра, указатель на следующий примитив и т.д.)

Сток примитивов

- Примитив 1
- Примитив 2
- Примитив 3
- ...
- Примитив n



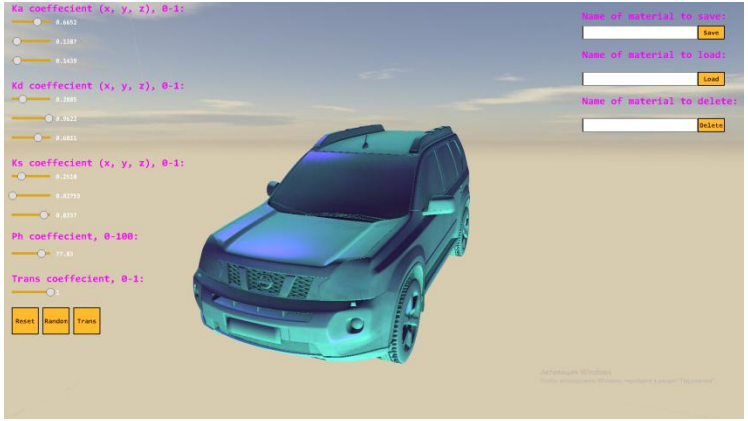
Ресурсы. Материалы

Материал

- Название материала
- Шаблон материала
- Универсальный буфер хранения
- Массив текстур
- Последний кадр, когда материал был использован

Сток

- Материал 1
- Материал 2
- Материал 3
- Материал 4
- ...
- Материал n



Шаблоны материалов

Шаблон материала

- Формат вершин
- Набор шейдеров
- Формат материала

Синтаксис, описывающей формат хранения материала на шейдере:

```
([<Имя поля>](<f|i><Число компонент>)[,etc.])
```

Пример строки, описывающей формат хранения материала соответствующего модели освещения Фонга:

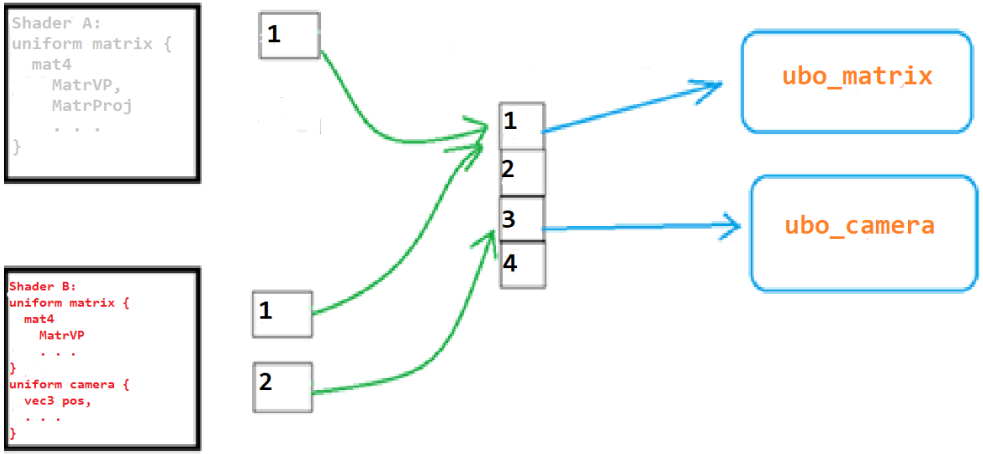
```
Ka(f3),(f1),Kd(f3),Tr(f1),Ks(f3),Ph(ph1)
```

Ресурсы. Текстуры

AT5,AT5,video

Ресурсы. Буферы

- Буферы позволяют передавать данные на шейдер.
- UBO – разновидность буферов, предназначенная для передачи на шейдер небольших объемов данных.
- SSBO – разновидность буферов, предназначенная для передачи на шейдер больших объемов данных.

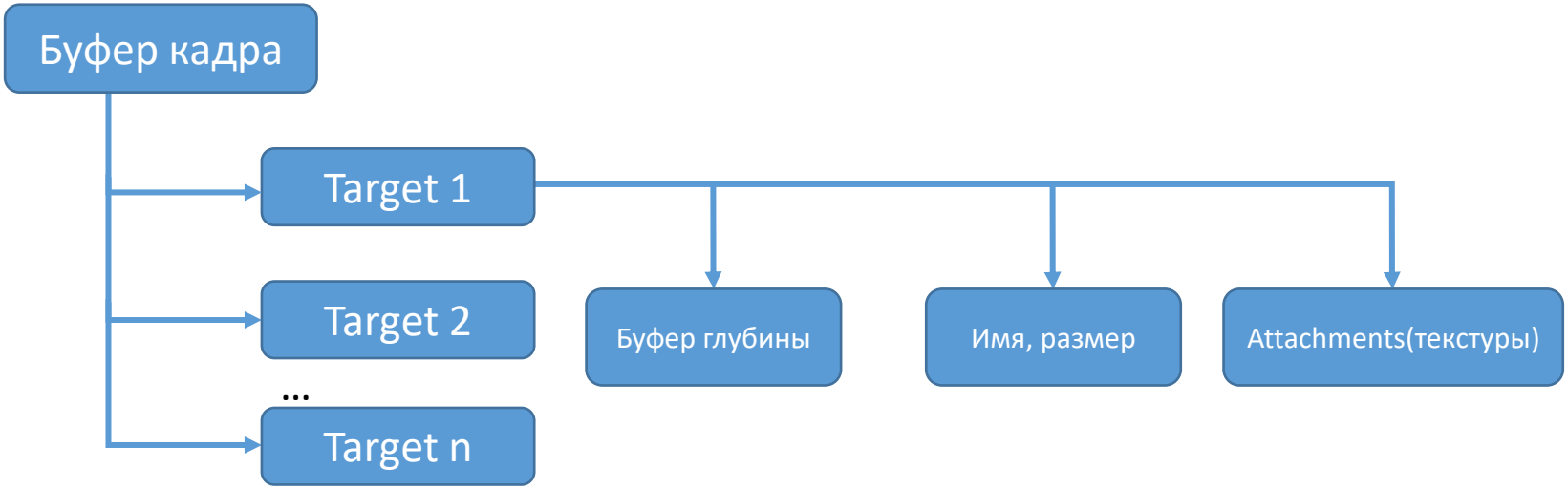


Ресурсы. Шейдеры

- Обработка и изменение графических данных на видеокарте позволяет значительно ускорить процесс рисования.
- Разделяется на несколько видов: Вершинные и Фрагментные, Геометрические и Тесселяционные, Вычислительные (Компьютерные).
- Реализовано динамическое изменение шейдеров.

```
layout(vertices = 1) out;

in MarkerSphere FromVertSphere[];

out MarkerSphere FromControlSphere[];

#define Position FromVertSphere[gl_InvocationID].SphereP.xyz
#define Radius FromVertSphere[gl_InvocationID].SphereR
#define Color FromVertSphere[gl_InvocationID].SphereColor.rgb

/* The main control shader function.
 * ARGUMENTS: None.
 * RETURNS: None.
 */
void main( void )
{
  FromControlSphere[gl_InvocationID] = FromVertSphere[gl_InvocationID];

  float
    d = distance(CamLoc, Position),
    a = 10, b = 60,
    minn = 12, maxn = 20,
    n = d <= a ? maxn : d >= b ? minn : (d - a) / (b - a) * (minn - maxn) + maxn;

  gl_out[gl_InvocationID].gl_Position = gl_in[gl_InvocationID].gl_Position;

  gl_TessLevelOuter[0] = n;
  gl_TessLevelOuter[1] = n;
  gl_TessLevelOuter[2] = n;
  gl_TessLevelOuter[3] = n;
  gl_TessLevelInner[0] = n;
  gl_TessLevelInner[1] = n;
}
```

Ресурсы. Буферы кадра (targets)



Ресурсы. Источники света. Модель освещения

Для расчета освещения использована стандартная модель Фонга:

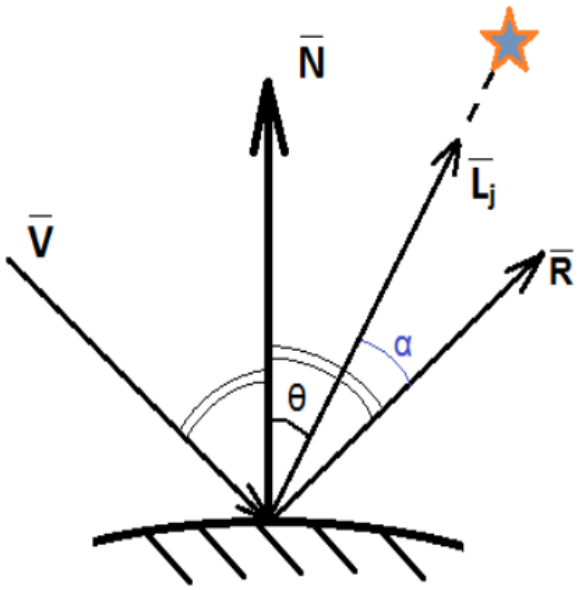
$$I_{Scene} = I_{Ambient} + F_{att} * (I_{Diffuse} + I_{Specular})$$

$$I_{Ambient} = K_A * I^{Object}$$

$$I_{Diffuse} = K_D * I^{Object} * \max(0, \vec{N} \cdot \vec{L})$$

$$I_{Specular} = K_S * I^{Object} * \max(0, (\vec{R} \cdot \vec{L})^{P_h})$$

$$F_{att} = \min\left(\frac{1}{C_c + C_L * d_L + C_Q * d_L^2}, 1\right)$$



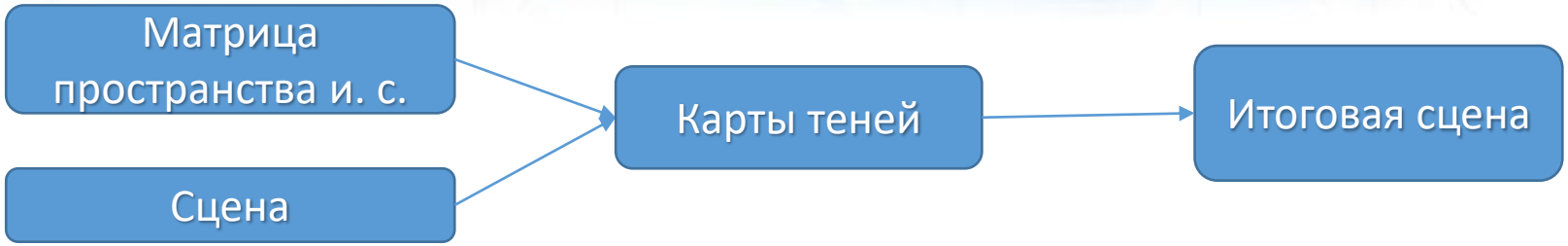
Ресурсы. Источники света и их виды

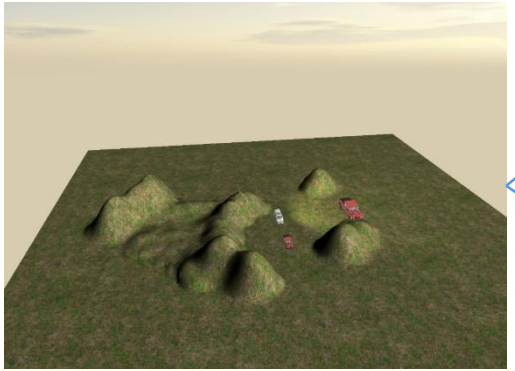
Направленный

Точечный

Прожекторный

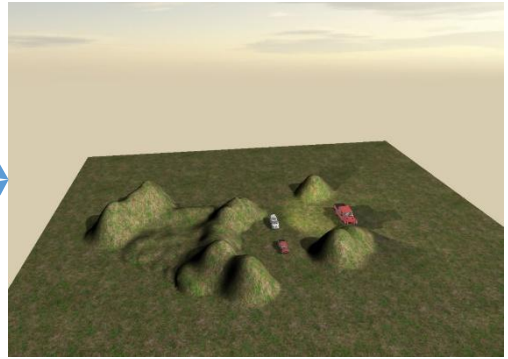
Ресурсы. Источники света. Построение теней





Кадр без теней

Карты теней

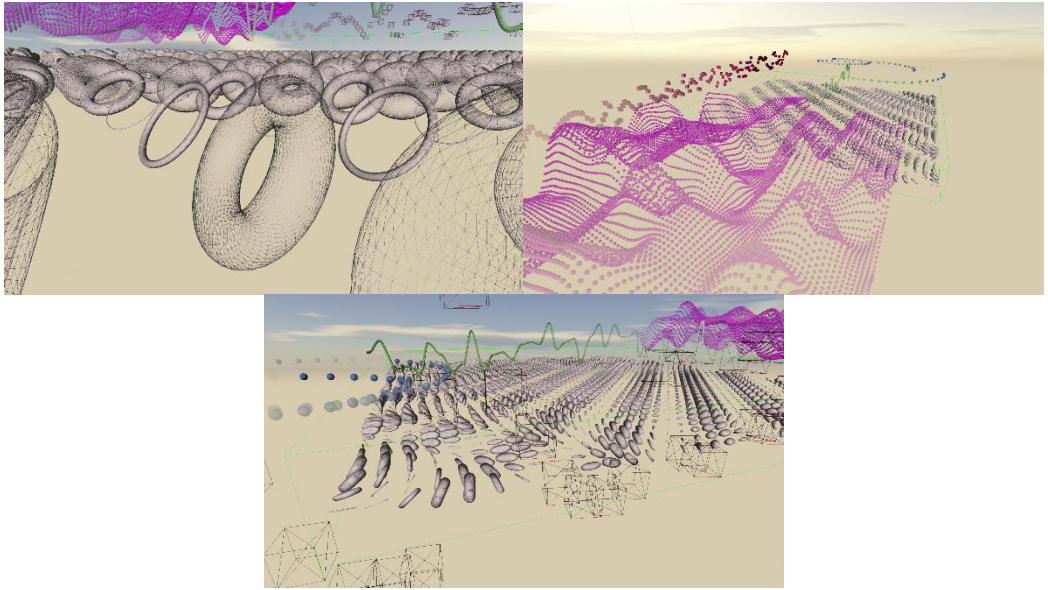


Итоговый кадр

Ресурсы. Маркеры

Виды маркеров:

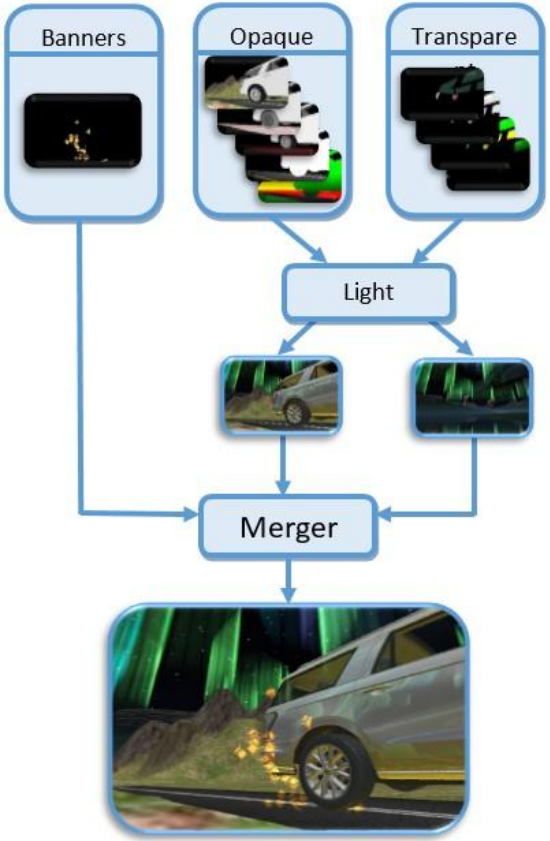
- сфера
- цилиндр
- тор
- куб
- линии



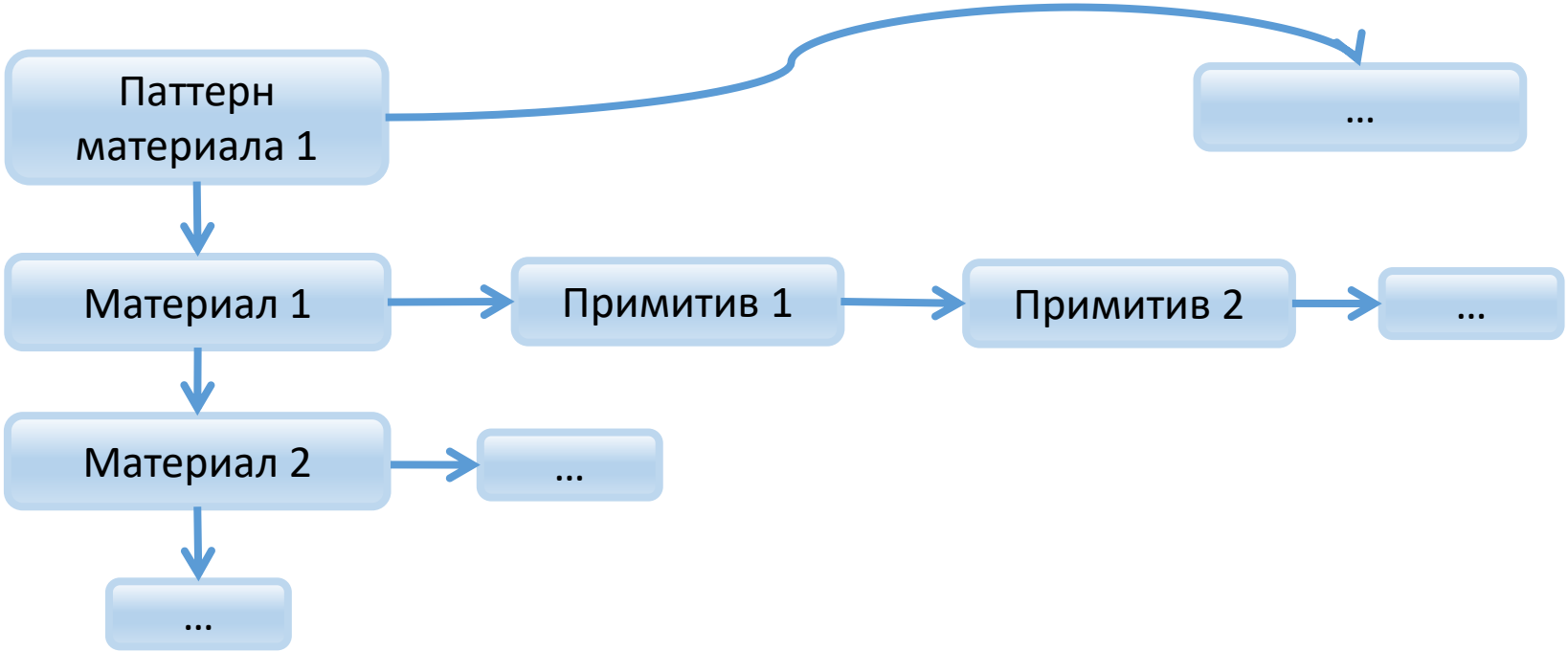
Конвейер вывода

Вывод:

- Отрисовка прозрачных и непрозрачных объектов
- Освещение объектов
- Отрисовка баннеров
- Объединение в финальное изображение



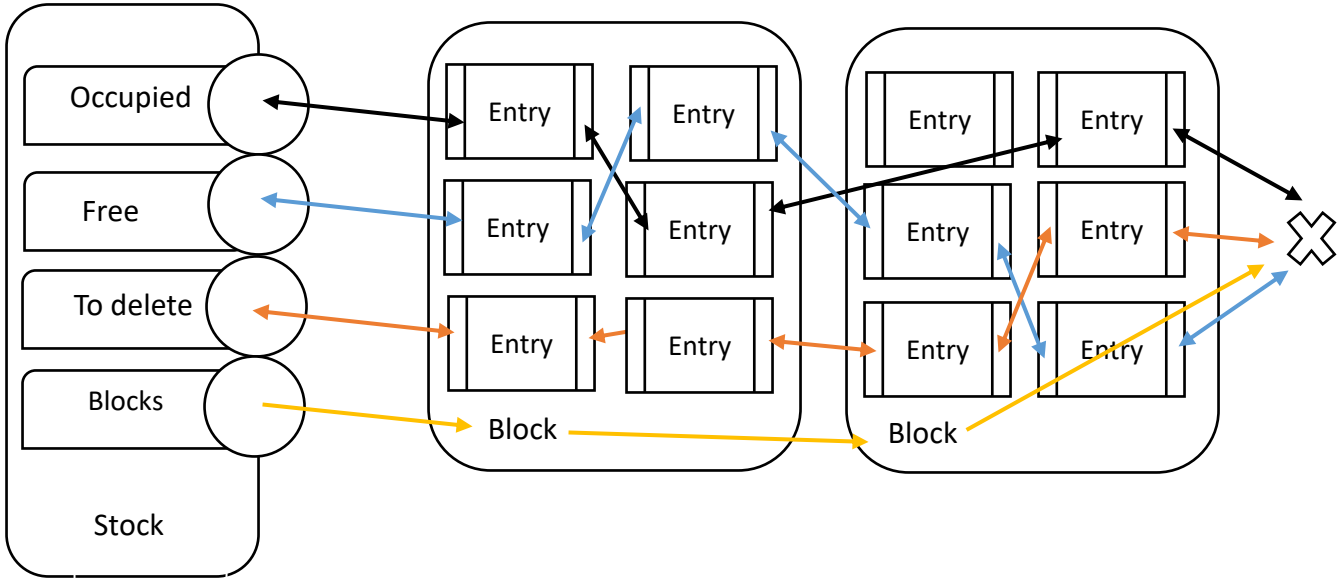
Конвейер вывода. Сортировка примитивов



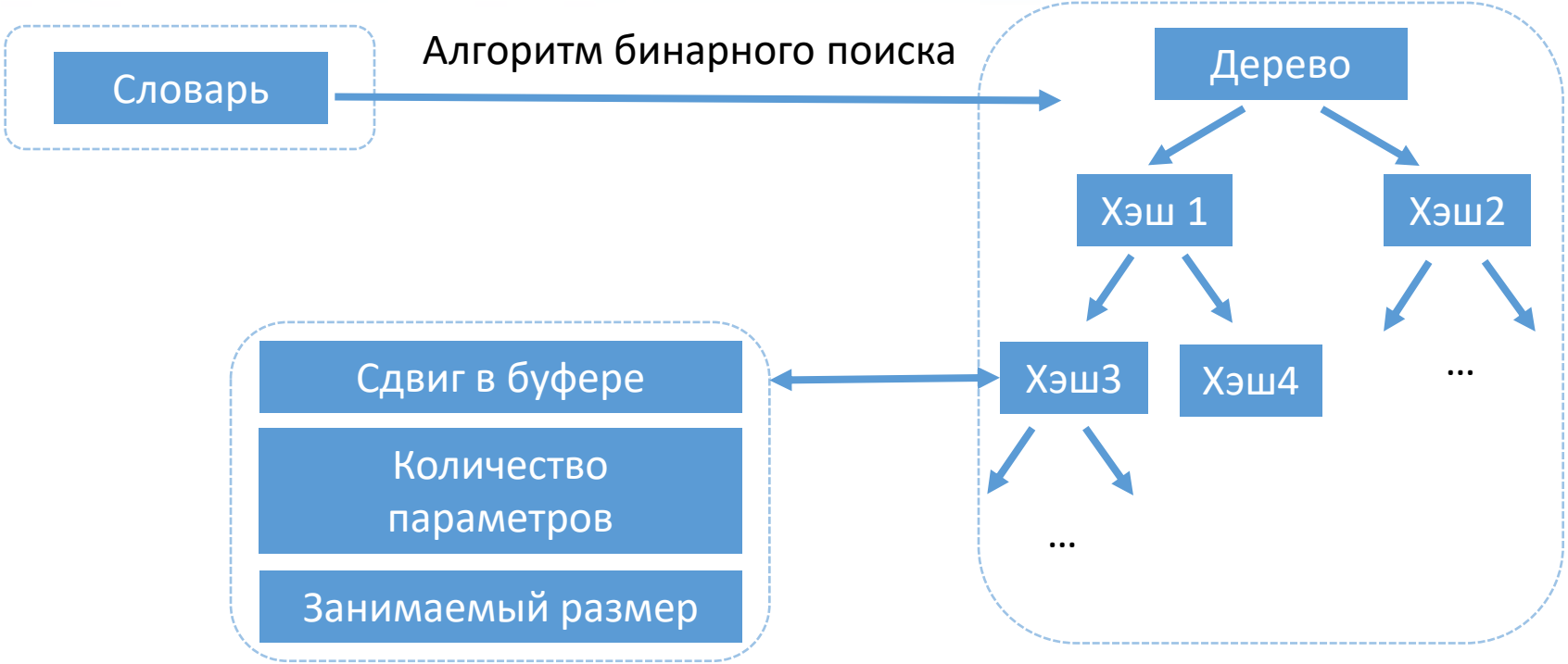
Система вывода. Контейнеры

Контейнеры содержат:

- Название
- Указатель на первую занятую ячейку
- Указатель на свободную ячейку
- Указатель на первую ячейку помеченную на удаление
- Указатель на первый блок
- Функция отчистки ячейки
- Размер одной ячейки
- Количество ячеек в блоке



Система вывода. Словари



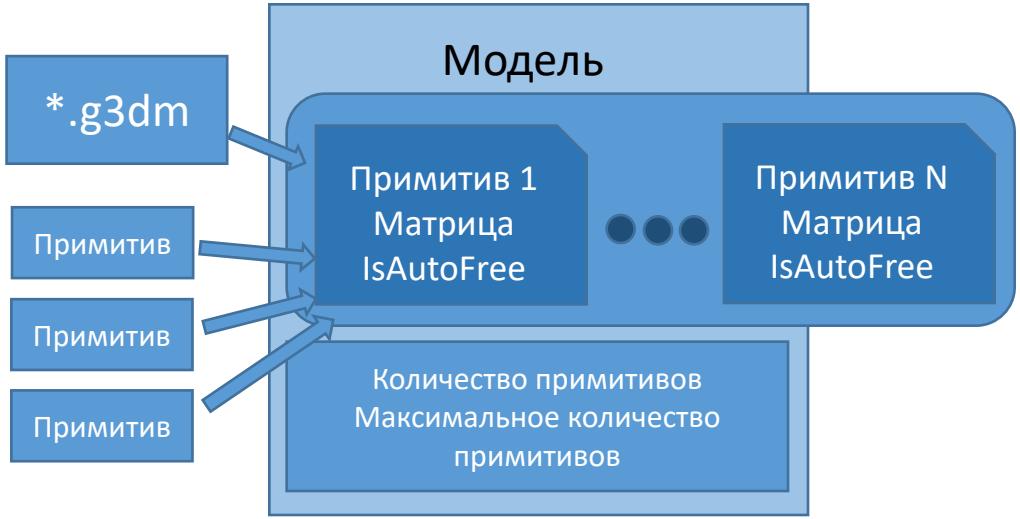
Система вывода. Синтаксический разбор

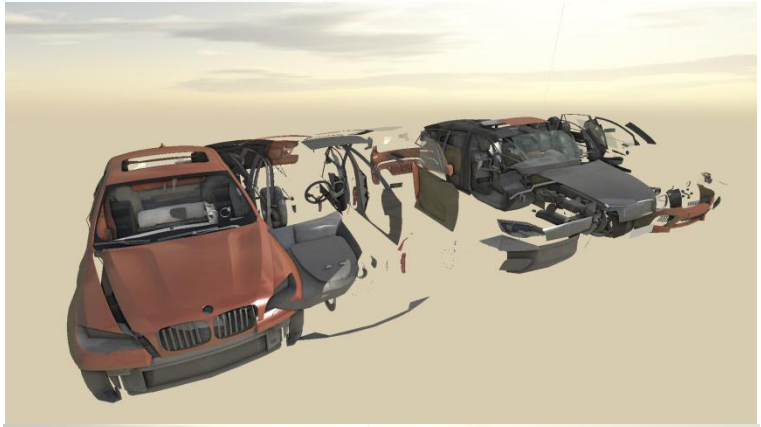
BE3,BE3,video?

Система вывода. Топология

BE3,BE3,video?

Система вывода. Модели





Система вывода. Изображения

Поддерживаемые форматы изображений:

- BMP,
- JPEG,
- PNG,
- DDS,
- TGA,
- G24/G32.

Image:
Высота и ширина изображения
Массив цветов точек (хранятся по 4 байта на точку)
Контекст рисования (Bitmap handle)
Название изображения
Массив мип-мапов (mipmaps)

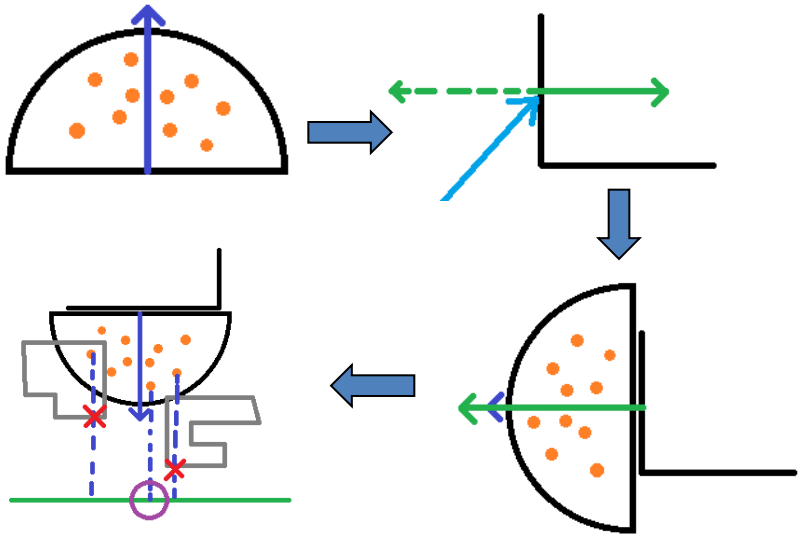
Доступные фильтры:
Черно-белый фильтр
Фильтр инверсии (негатива)
Зеленый фильтр
Голубой фильтр
Красный фильтр

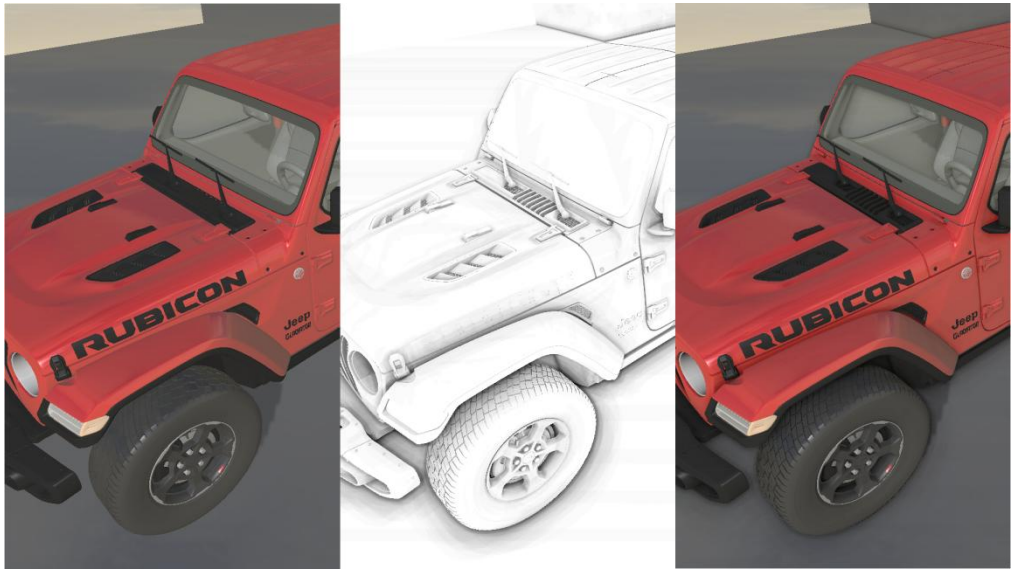
Система вывода. Отсечение объектов

IF4,IF4,video

Система вывода. Фоновое затенение

$$AO = \frac{N_{\text{видимые}}}{N_{\text{всего}}} \qquad FinalColor = Color * AO$$

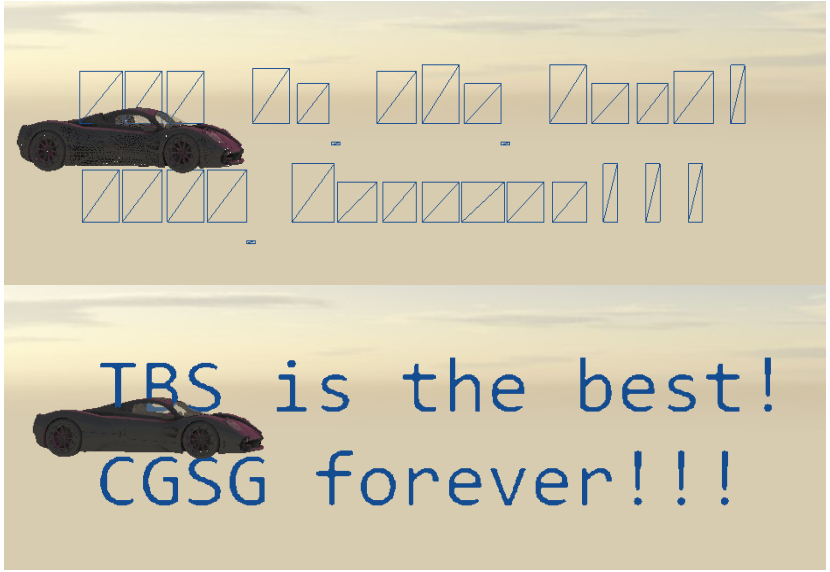




Система вывода. Шрифты

Поддерживаемый формат файлов: .g3df

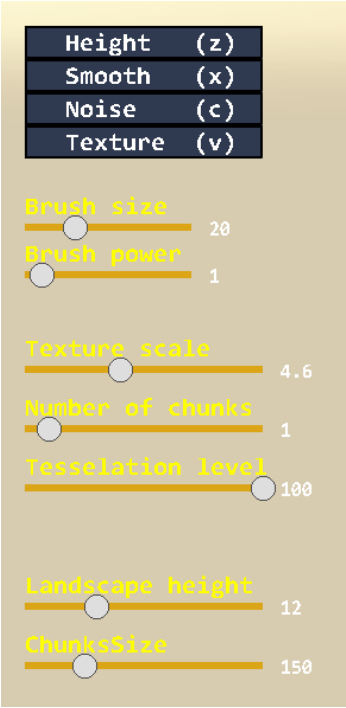
Текстура шрифта.

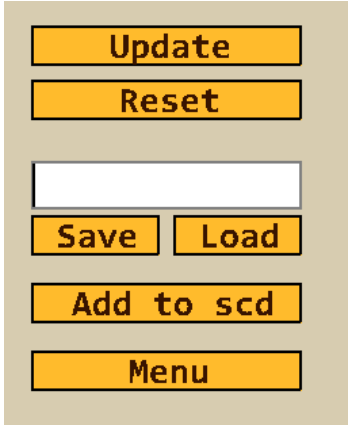


Каждый символ – отдельный примитив.

Система вывода. Отрисовка в текстуру

Поддержка функции для рисования:
Массива точек
Буфера
Пикселя
Линии
Широкой линии
Горизонтальной линии
Окружности
Круга
Закрашенного прямоугольника
Прямоугольника
Текста





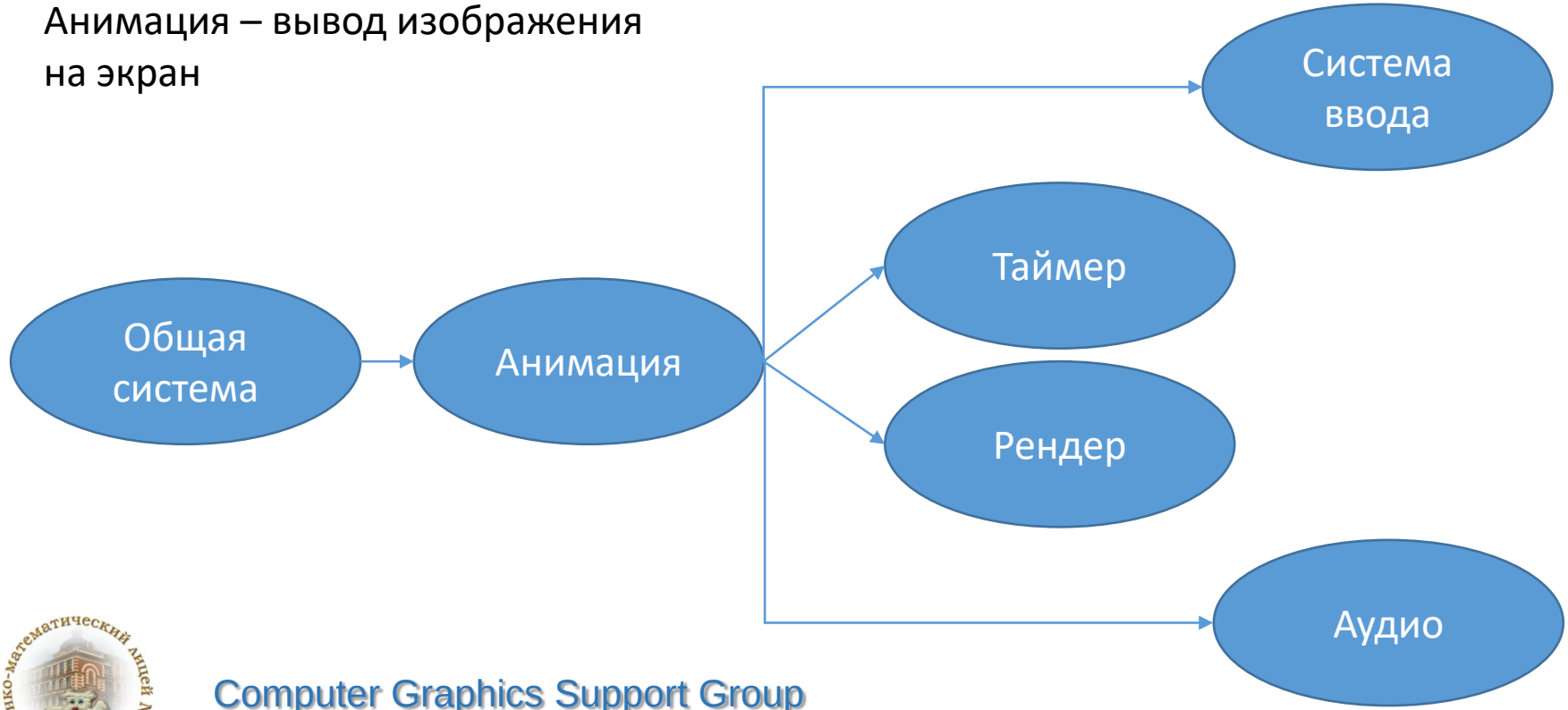
Пользовательский интерфейс

Виды элементов UI:

- Кнопка
- Слайдер (ползунок)
- Чекбокс
- Окно ввода
- Переключатель
- Список

Анимация

Анимация – вывод изображения на экран



Анимация. Сцены

Сцена – инструмент управления юнитами.

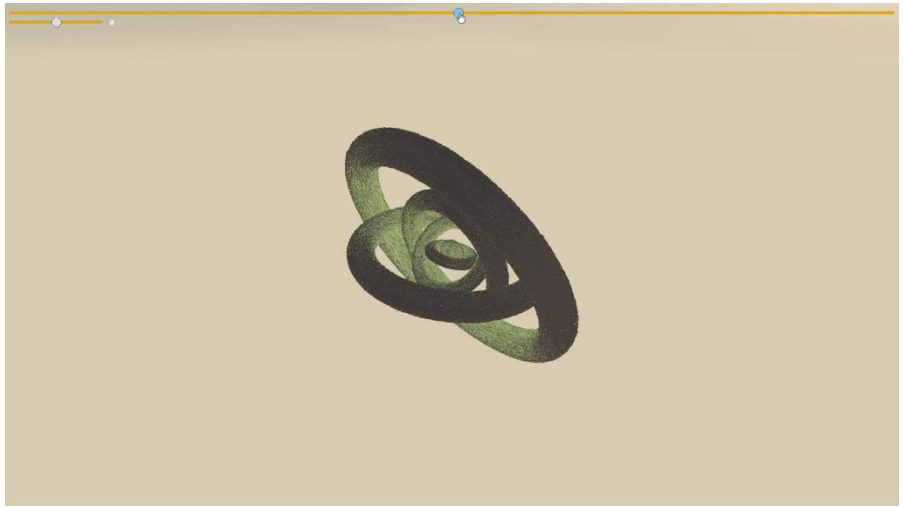
```
Test
  unit Control
  unit Editor
  unit SampleIR6
  unit SampleMM6
  unit SampleVG6
Default
  unit SampleLF6
  unit SampleVG4
  unit SampleAT6
```

Название сцены

Имя юнитов

Анимация. Таймер

Таймер:
Глобальное время
Глобальное меж-кадровое время
Время
Меж-кадровое время
Флаг паузы



Анимация. Система ввода

Система ввода

Клавиатура

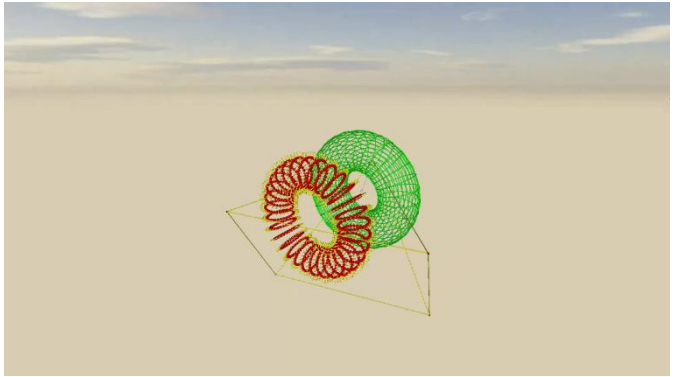
- состояние кнопок на текущем кадре;
- состояние кнопок на предыдущем кадре;
- единичное нажатие клавиш.

Джойстик

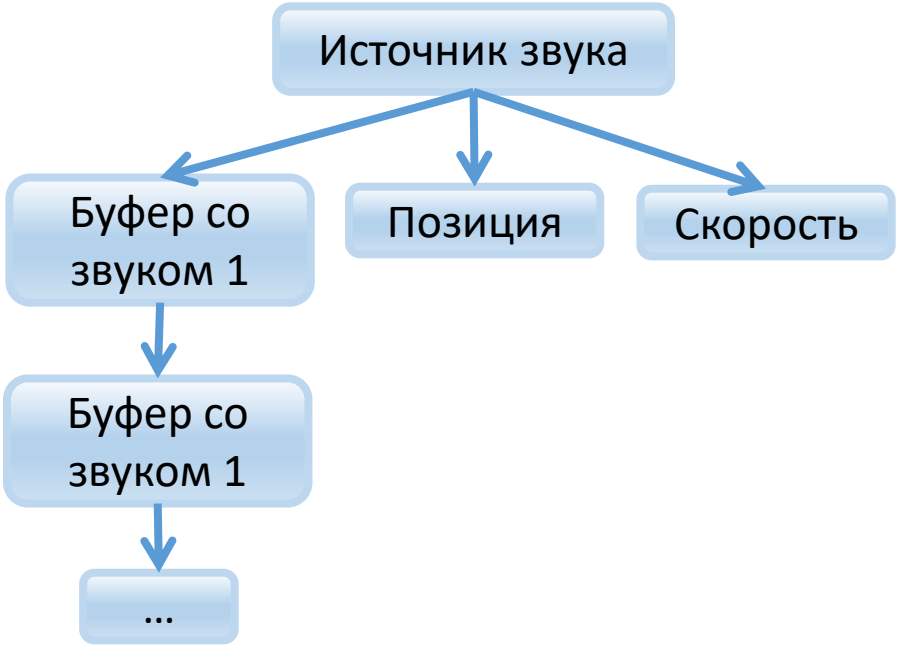
- состояние кнопок на текущем кадре;
- состояние кнопок на предыдущем кадре;
- единичное нажатие клавиш;
- управление точкой обзора (POV);
- оси джойстика (x, y, z, r).

Мышь

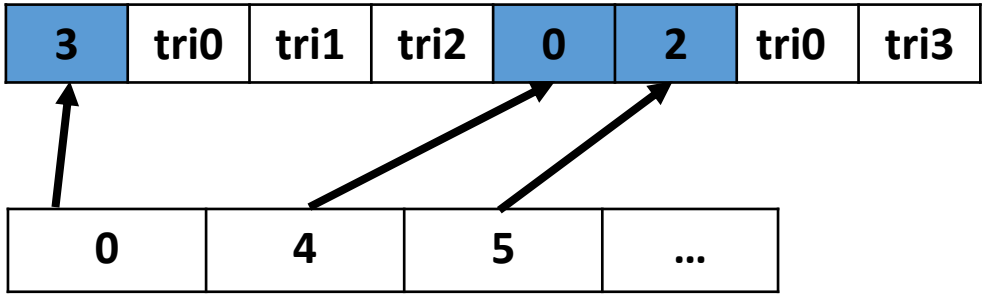
- координаты курсора (x, y, z);
- перемещение курсора в единичный промежуток времени (x, y, z);
- колесо мыши.

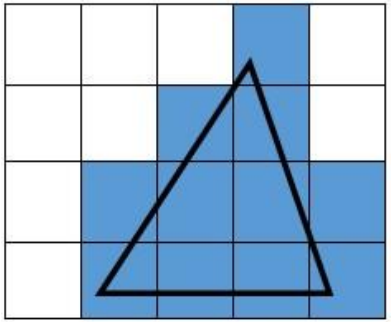


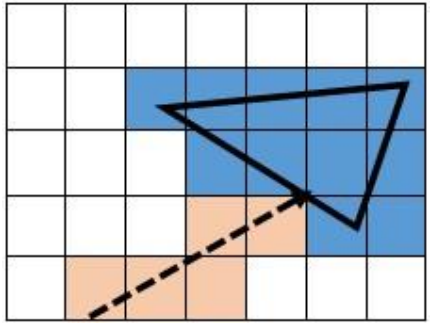
Система вывода звука

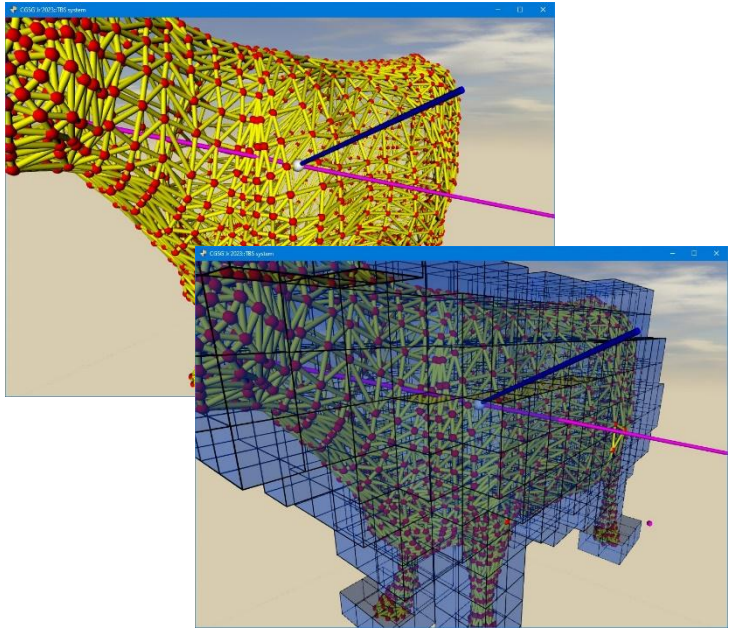


Статические коллизии





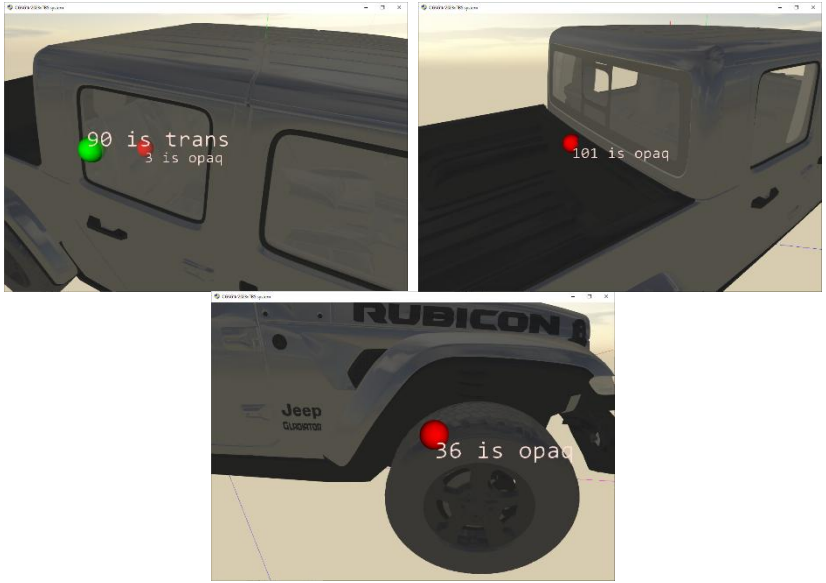




Инструменты поиска объектов

Инструменты поиска объектов позволяет:

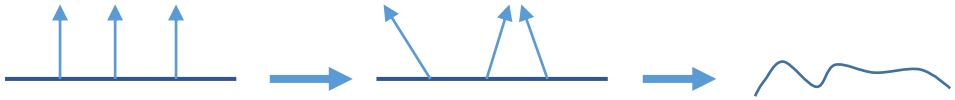
- Узнать номер прозрачных и непрозрачных примитивов.
- Считывать информацию с буфера кадра.



Симуляция воды

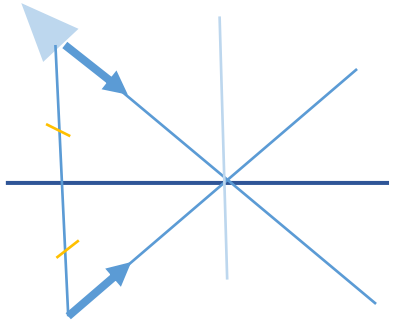
Используемые текстуры:

- Карта нормалей



- Du/Dv карта

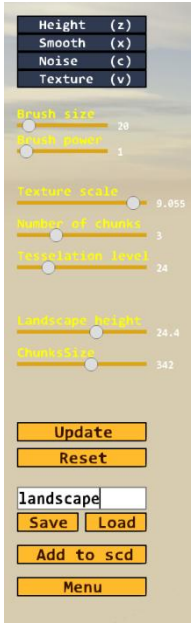
- Отражение, преломление



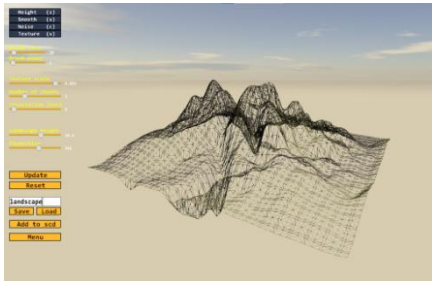
Отрисовка в текстуру

Перемещение камеры

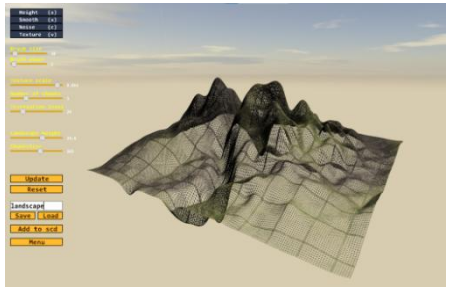
Система редактирования ландшафтов



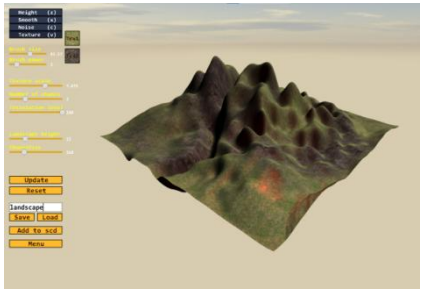
Пользовательский интерфейс для редактирования параметров ландшафта



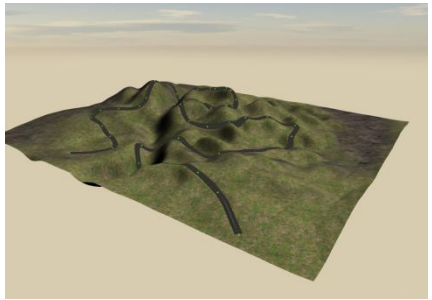
Низкая детализация

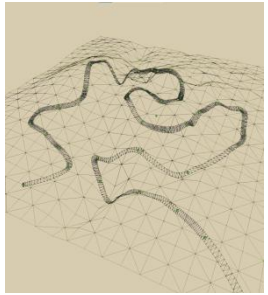


Средняя детализация



Высокая детализация

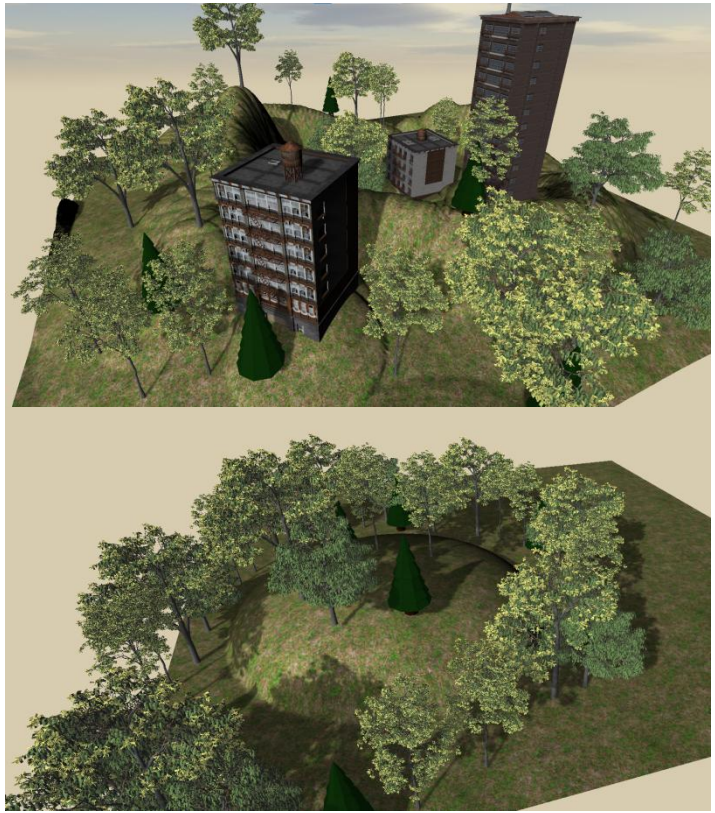




Взаимодействие ландшафтов с системой построения дорог

Построение статических растений

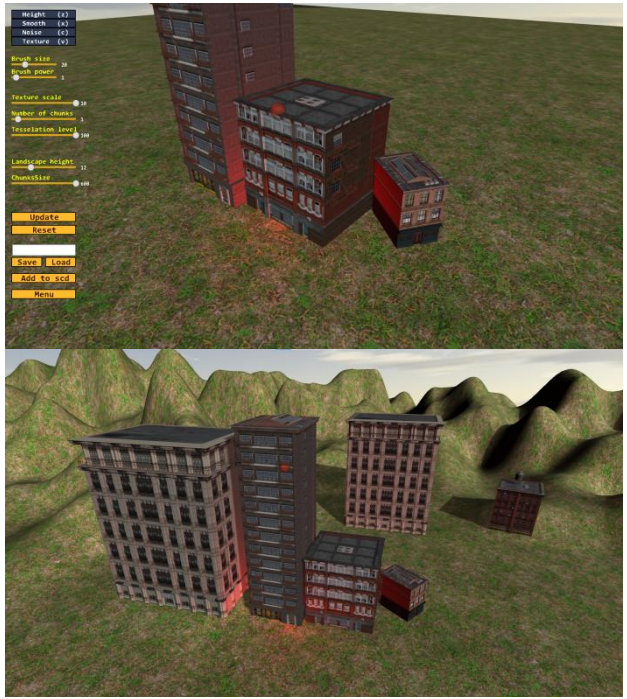
Модели деревьев – файлы “.g3dm”.
Существует несколько видов моделей.



Расположение архитектуры

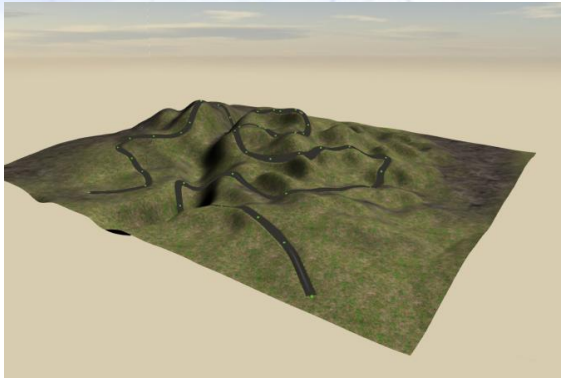
Расположение архитектуры позволяет:

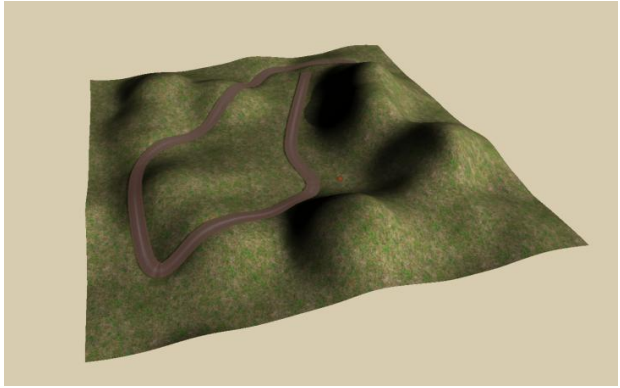
- Ставить модели на ландшафт.
- Изменять позицию и поворот здания.
- Изменять уже поставленные здания

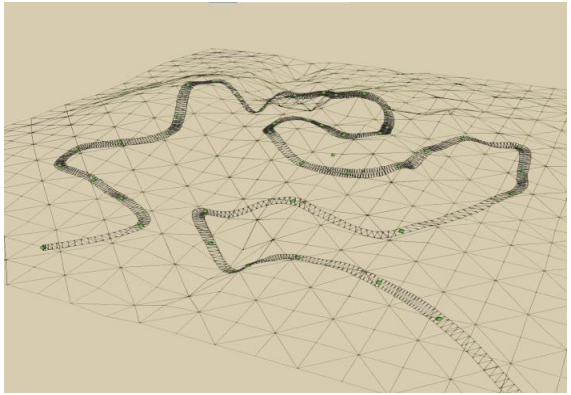


Построение дорог

Был реализован редактор дорог, который позволяет в реальном времени строить дорогу по опорным точкам, и получающий информацию о высоте от редактора ландшафта.

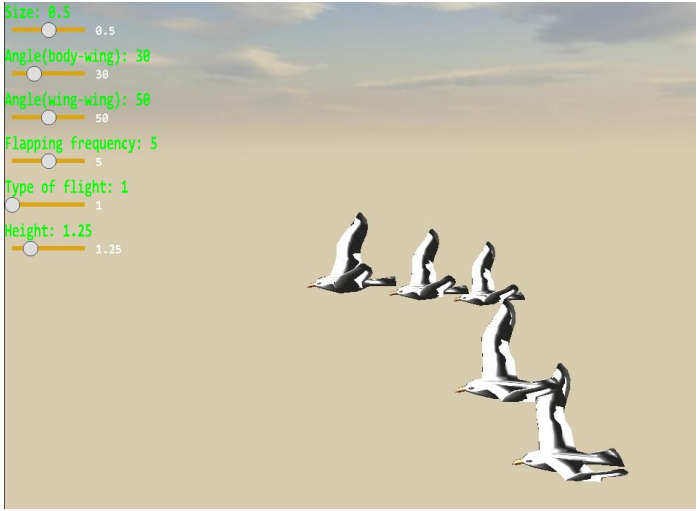




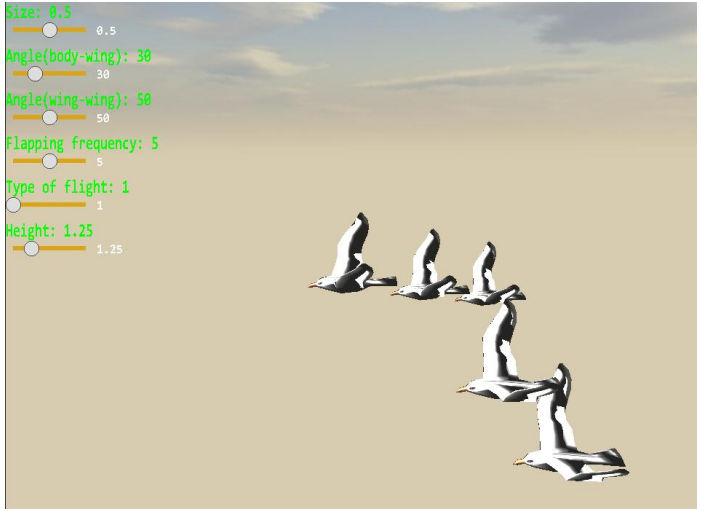


Живое окружение

Анимация полета



Изменение параметров птицы

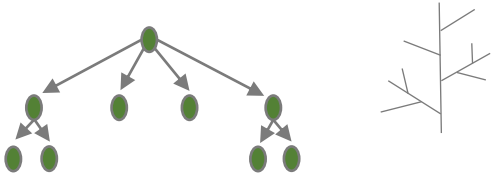


Генерация растительности

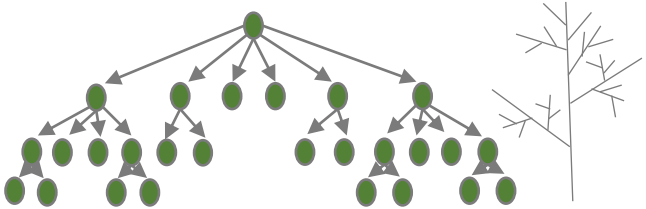
Дерево состоит из узлов, содержащих ссылки на правые и левые дочерние узлы. Глубина вложенности и количество веток определяется числом итераций выполнения алгоритма, за одну итерацию каждый узел получает два дочерних узла.

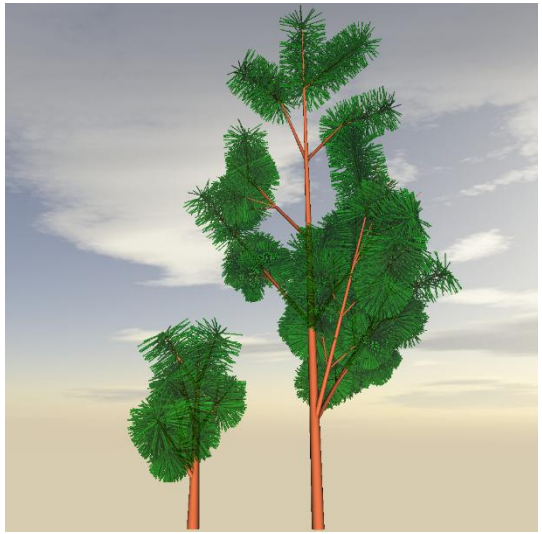
1 итерация

2 итерация



3 итерация





Заключение

- Цели и задачи, поставленные в ходе реализации проекта, выполнены успешно.
- Результат проекта – приложение, моделирующее и визуализирующее пейзажи.
- Успешно реализована идея создания крупного проекта большой группой авторов.
- Мы уверены, что наш опыт реализации подобного проекта будет полезен в будущих исследованиях моделирования, а также поможет улучшить визуализацию сложных редактируемых объектов в реальном времени.

Разработка кода

- **Худяков Тимофей 08-4 класс**
разработка системы освещения, визуализация теней от объектов
- **Посудин Савва 09-1 класс**
конвейер вывода, статические коллизии система вывода звука
- **Егоров Борис 09-3 класс**
построение топологий, синтаксический разбор
- **Ильясов Александр 09-3 класс**
система буферов GPU, загрузка DDS изображений
- **Павлов Ефим 09-4 класс**
математическая поддержка, редактор построение дорог
- **Федорич Ирина 09-4 класс**
построение отсечения пирамидой видимости
- **Чепурных Денис 09-6 класс**
таймер, система ввода, изображения PNG и JPEG, отрисовка в 2D текстуру
- **Витман Илья 10-2 класс**
система материалов, система частиц
- **Новиков Александр 10-5 класс**
система буферов кадра, анимированные птицы
- **Пашков Иван 10-5 класс**
система примитивов, TGA формат, пользовательский интерфейс
- **Петров Тимофей 10-5 класс**
шаблоны материалов, построение и редактирование ландшафтов
- **Тюрина Анастасия 10-5 класс**
система текстурирования, кубические и 3D текстуры, генерация растений
- **Голубов Владислав 10-6 класс**
система построения маркеров, редактор расположения сооружений
- **Кириллов Дмитрий 10-6 класс**
система шейдеров, система отрисовки транспорта
- **Мустафин Марат 10-6 класс**
контейнеры хранения, пространственные шрифты
- **Резников Иван 10-6 класс**
система анимации, редактор деревьев, управление сценами
- **Топунов Антон 10-6 класс**
модуль изображений, система моделей, фоновое затенение моделей
- **Фисунова Лидия 10-6 класс**
реализация системы словарей, симуляция воды

Разработка кода

Авторов: 18

Языки: C/GLSL

(вершинные, тесселяционные, геометрические, пиксельные и вычислительные шейдера)

Время разработки: зима-весна 2023-2024

Размер кода: 1.2 MiB

(111 x *.c – 870 KiB, 52 x *.h – 230 KiB, 150 x *.glsl – 195 KiB)

Строк кода: 45000

(*.c – 30000, *.h – 8000, *.glsl – 7000)