Введение в OpenGL

Компьютерная графика

Что говорит Wiki про OpenGL?

OpenGL (Open Graphics Library) — **спецификация**, определяющая **платформонезависимый** (независимый от языка программирования) **программный интерфейс** для написания приложений, использующих **двумерную и трёхмерную компьютерную графику**.

Две стороны одной медали

- На базовом уровне, OpenGL — **это просто спецификация**, то есть документ, описывающий набор функций и их точное поведение.

- Производители оборудования на основе этой спецификации создают **реализации** — библиотеки функций, соответствующих набору функций спецификации.

Текущее состояние

Тип	API
Разработчик	Silicon Graphics, затем Khronos Group
Написана на	C
Операционная система	Кроссплатформенное программное обеспечение
Первый выпуск	январь 1992
Последняя версия	4.6 (31 июля 2017)
Состояние	смотрите Vulkan
Лицензия	Различные
Сайт	opengl.org

Конкуренты и соратники

- Mantle – низкоуровневый графический и вычислительный API от AMD
- DirectX – набор API для Windows и Xbox
- Vulkan – другой графический API от Khronos Group
- Mesa (Mesa3D) — реализация OpenGL, Vulkan и других спецификаций графических API с открытым исходным кодом. Mesa переводит эти спецификации в драйверы графического оборудования конкретного производителя.

Khronos Group: OpenGl и не только

WebGL

- Web-based Graphics Library — программная библиотека для языка программирования JavaScript, позволяющая создавать на JavaScript интерактивную 3D-графику
- построена на основе OpenGL ES 2.0 и обеспечивает API для 3D-графики
- часть кода на WebGL может выполняться непосредственно на видеокартах
- использует HTML5-элемент canvas
- оперирует с DOM

Vulkan

- кроссплатформенный API для 2D- и 3D-графики, впервые представленный Khronos Group в рамках конференции GDC 2015
- предназначен для обеспечения различных преимуществ по сравнению с другими API, включая его предшественника OpenGL
- предлагает более низкие накладные расходы, более непосредственный контроль над GPU, и с меньшей нагрузкой на CPU

Vulkan и шейдеры

- OpenGL использует язык высокого уровня для написания шейдеров GLSL. Это заставляет каждого производителя OpenGL драйвера реализовать свой собственный компилятор для GLSL, выполняемый во время выполнения приложения, чтобы перевести шейдерные программы в исполняемый код для целевой платформы.
- Vulkan вместо этого обеспечивает промежуточный двоичный формат под названием SPIR-V (Standard Portable Intermediate Representation), аналогичный двоичному формату в который компилируются HLSL шейдеры на платформе DirectX.
- Это позволяет производить компиляцию шейдеров на этапе разработки.
- Также позволяет разработчикам приложений писать шейдеры на других языках, кроме GLSL.

OpenGL — это

- программный интерфейс к графической аппаратуре
- около 250 отдельных команд (200 в самой OpenGL и 50+ в библиотеке утилит)
- обобщенный, независимый интерфейс, который может быть реализован для различного аппаратного обеспечения

Основные графические операции OpenGL

- конструирует фигуры из геометрических примитивов
- позиционирует объекты в трехмерном пространстве и выбирает точку наблюдения
- вычисляет цвета для всех объектов
  - могут быть определены приложением
  - получены из расчета условий освещенности
  - вычислены при помощи текстур, наложенных на объекты
  - или из любой комбинации этих факторов
- выполняет растеризацию (растровую развертку)

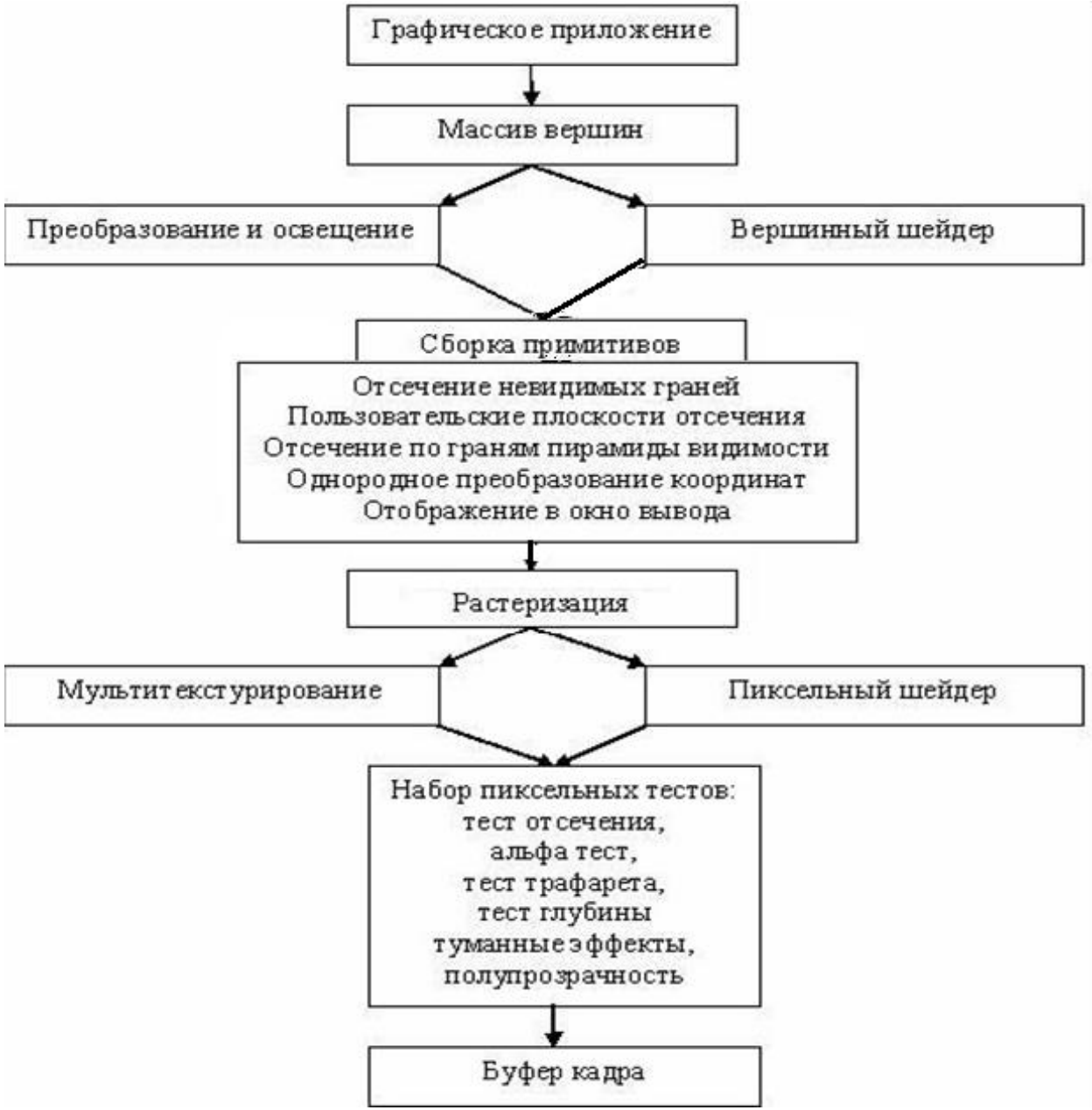
Чего нет в OpenGL?

- функций для создания окон
- захвата пользовательского ввода
- высокоуровневых функций для описания моделей трёхмерных объектов

Библиотеки для работы с окнами и не только

- GLEW
- SFML
- Freeglut + SOIL2
- GLFW

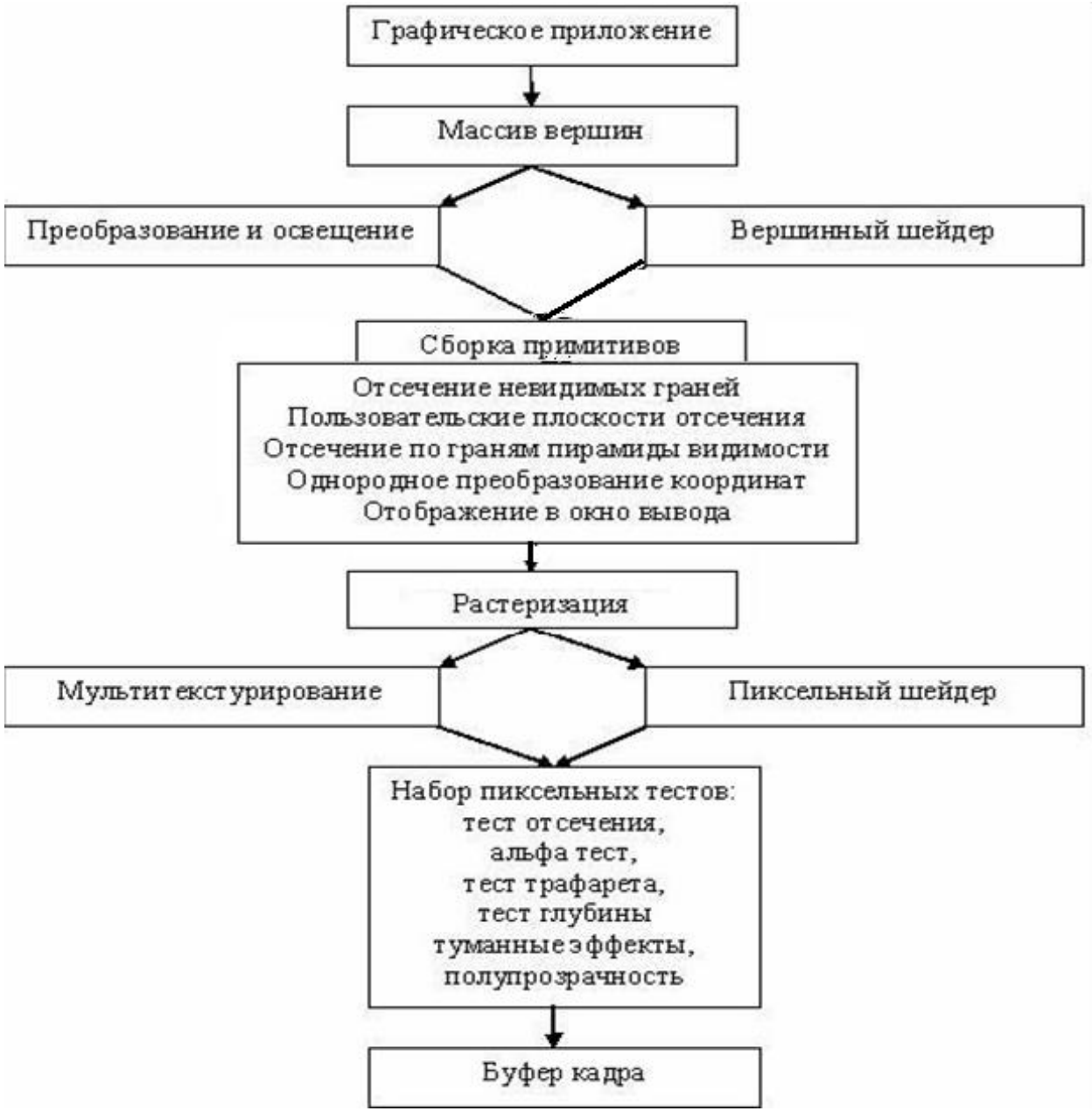
Конвейер визуализации OpenGL



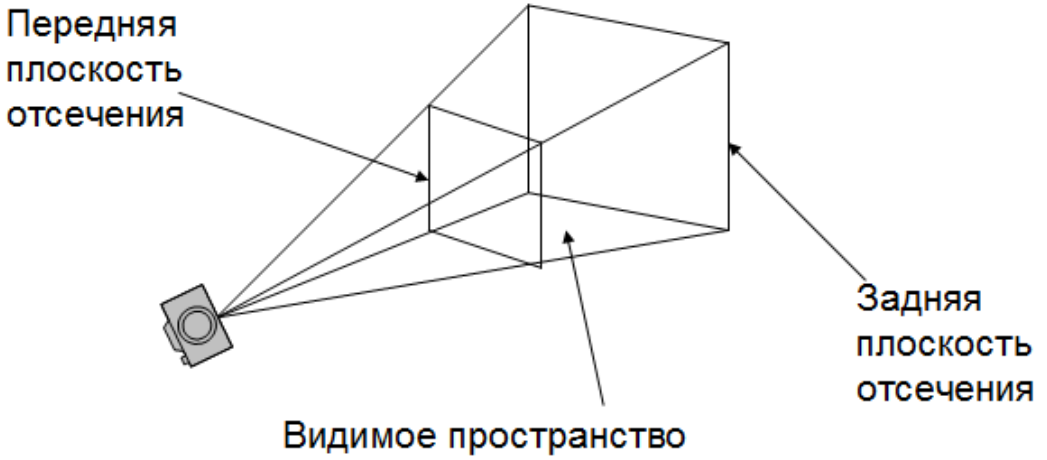
Повершинные операции (per-vertex operations)

- В течение этого этапа вершины преобразуются в примитивы
  - Различные матричные преобразования
  - Пространственные координаты проецируются из 3D в экранные
- Если используется текстурирование, координаты текстуры могут быть сгенерированы и изменены на этом шаге
- Если используется освещение, вычисления, связанные с ним, производятся с использованием трансформированных вершин, нормалей поверхностей, позиций источников света, свойств материала, а также другой информации, позволяющей вычислить цветовую величину

Конвейер визуализации OpenGL



Сборка примитивов. Отсечение

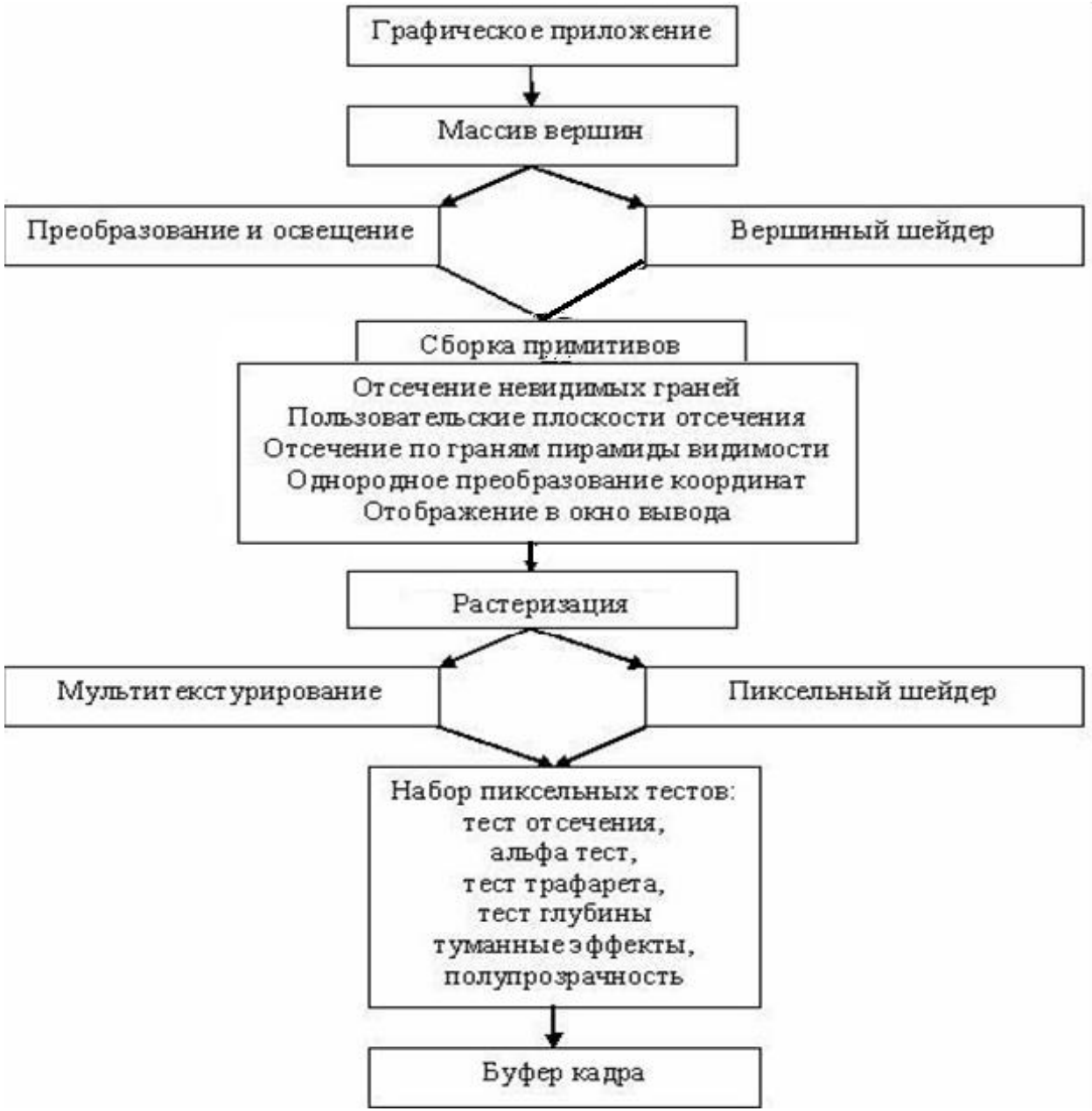


- Отсечение — большая часть сборки примитивов. Это уничтожение частей геометрии, выпадающих за полупространство, определенное плоскостью
  - Отсечение точек просто отвергает или не отвергает вершину
  - Отсечение линий или полигонов может добавить дополнительные вершины в зависимости от того, как именно линия или полигон отсекаются

Сборка примитивов. Что дальше

- Перспективное разделение
- Операции с портом просмотра (viewport)
- Если включён режим, то выполняется тест на лицевые грани
- Результатом этого этапа являются завершенные примитивы, т.е. трансформированные и отсеченные вершины со связанными цветом, глубиной и, иногда, координатами текстуры

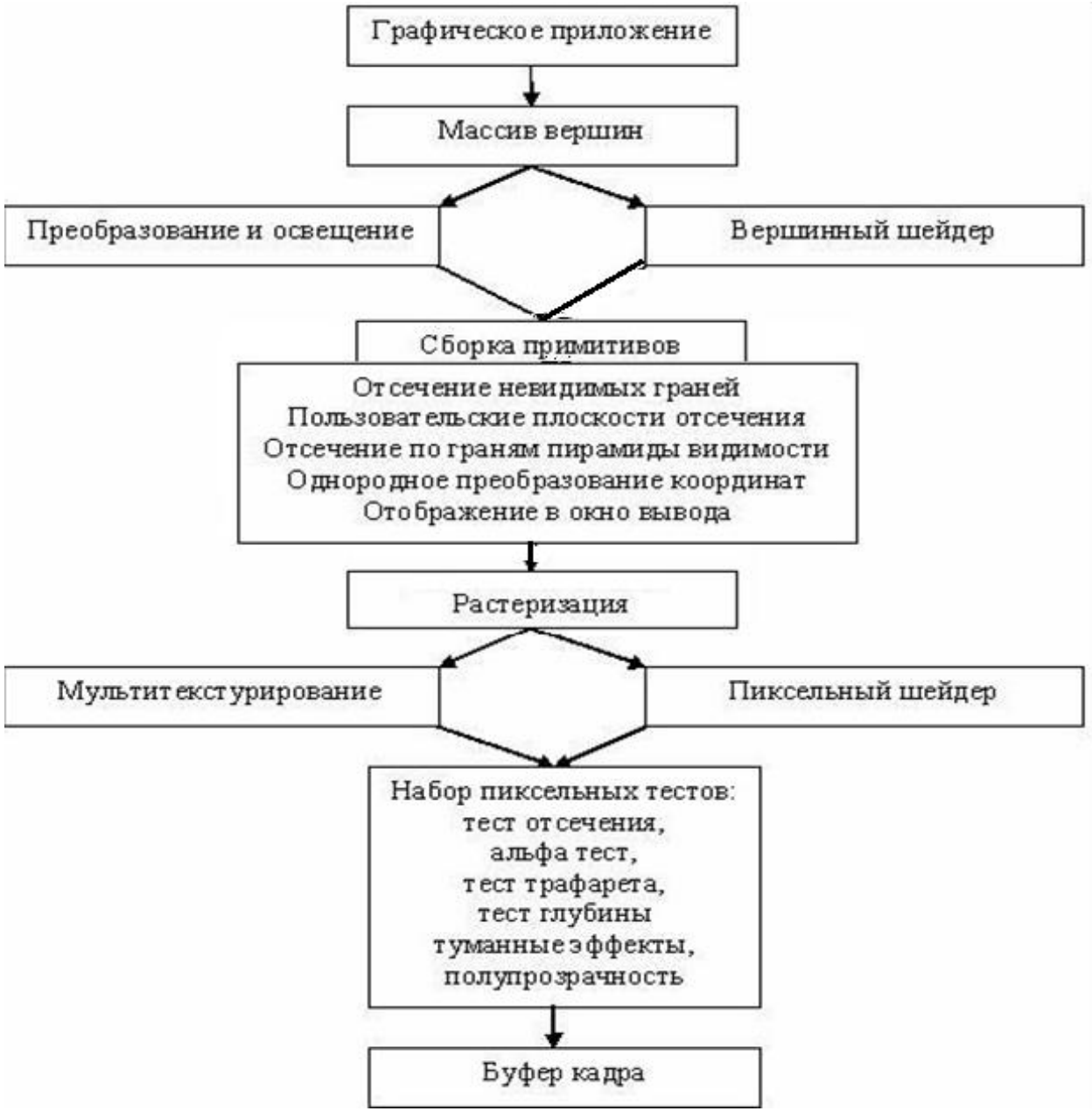
Конвейер визуализации OpenGL



Растеризация

- Растеризация – это процесс преобразования геометрических и пиксельных данных во фрагменты
- Каждый фрагмент соответствует пикселю в буфере кадра
- При развертке двух вершин в линию или вычислении внутренних пикселей полигона принимаются в расчет
  - шаблоны линий и полигонов
  - толщина линии
  - размер точек
  - модель заливки
  - вычисления связанные со сглаживанием

Конвейер визуализации OpenGL



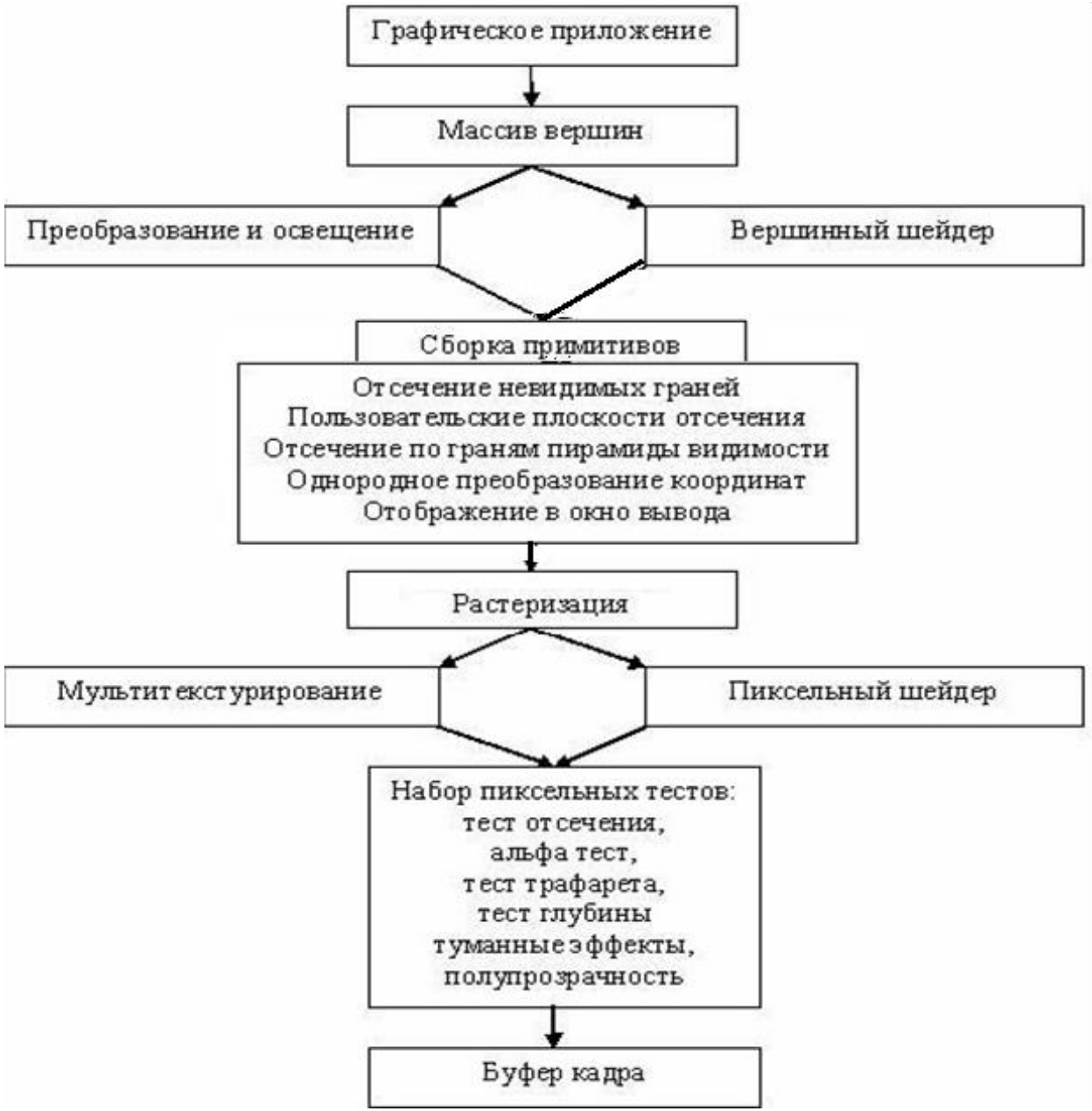
Операции над фрагментами

- Могут изменить или даже выбросить некоторые фрагменты
- Операции могут быть включены или выключены
  - текстурирование
  - вычисления тумана
  - тест отреза (scissor test)
  - альфа-тест
  - тест трафарета (stencil test)
  - тест буфера глубины
- Если фрагмент не проходит один из включенных тестов, это может закончить его путь по конвейеру
- Далее могут быть произведены наложение, смешивание цветов (dithering), логические операции и маскирование с помощью битовой маски
- Наконец, фрагмент заносится в соответствующий буфер, где становится пикселем

Наложение текстуры

- Если используется несколько изображений текстур, разумно поместить их в объекты текстуры, чтобы можно было легко переключаться между ними
- Некоторые реализации OpenGL могут иметь дополнительные ресурсы для ускорения операций с текстурами. Например, может существовать специализированная быстрая текстурная память

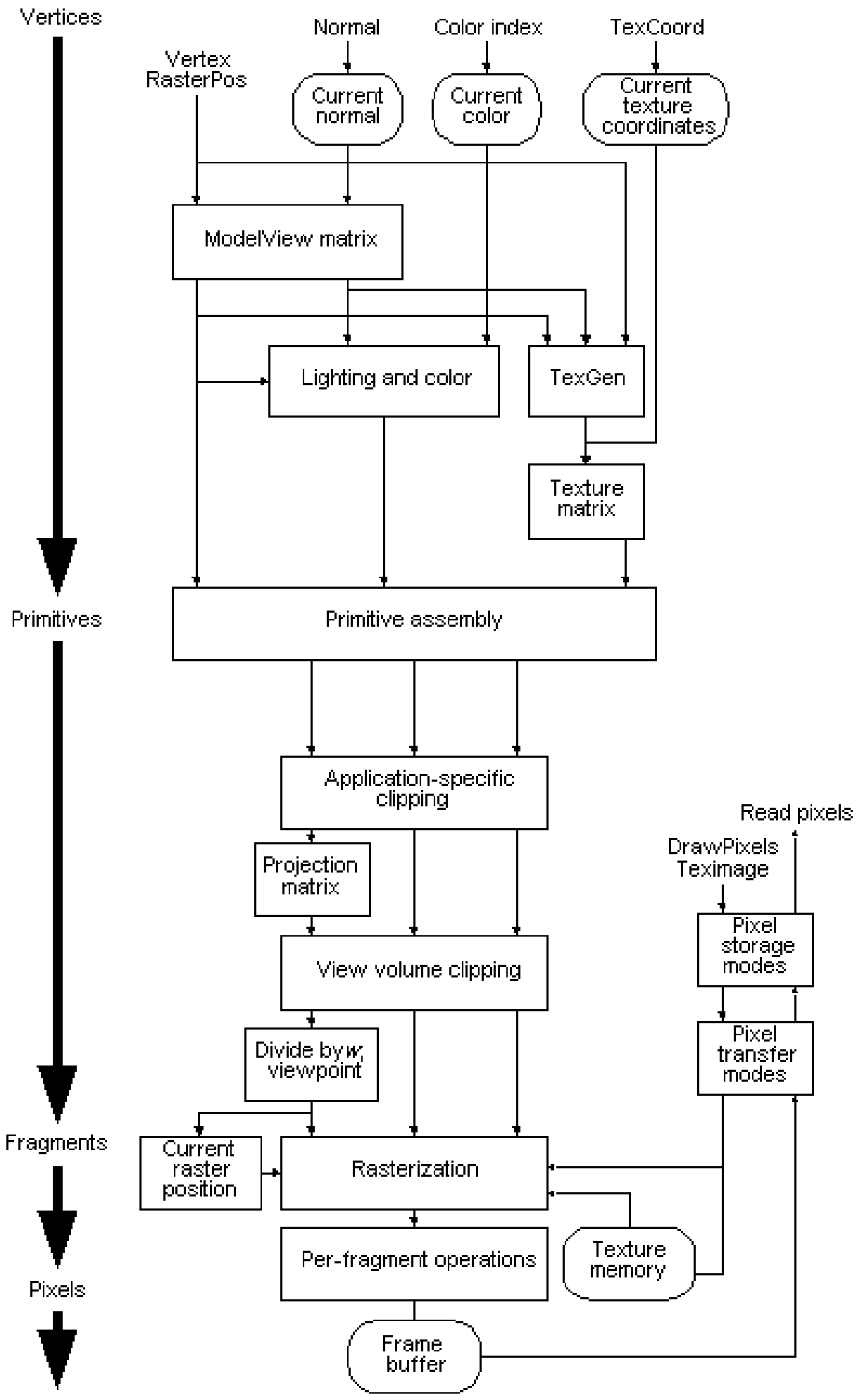
Конвейер визуализации OpenGL



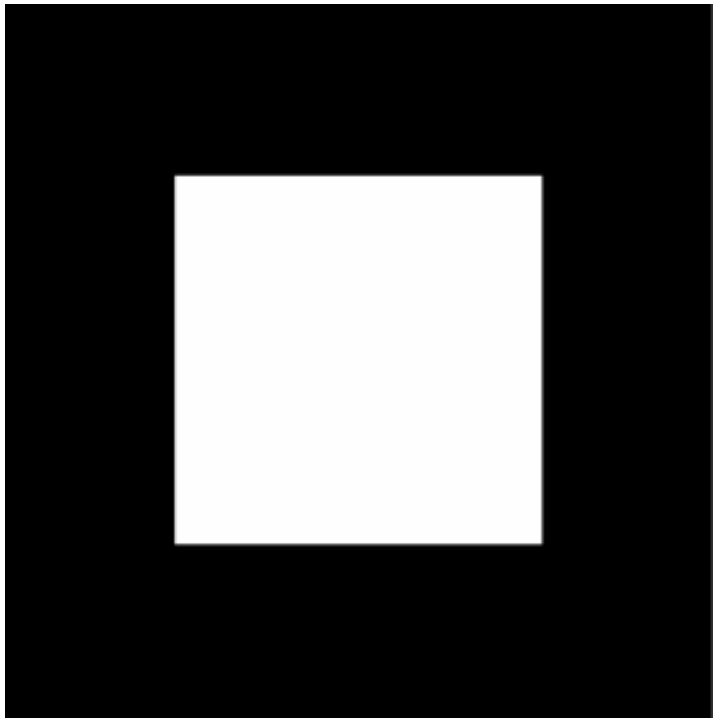
Операции над пикселями

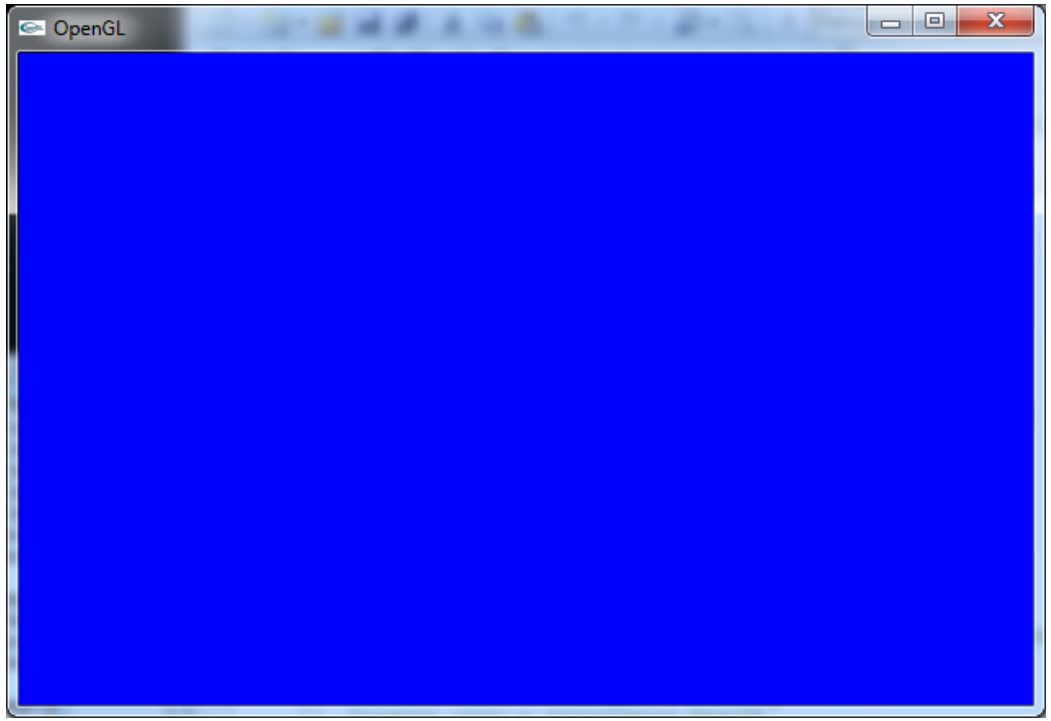
- Данные о пикселах следуют в конвейере OpenGL параллельным путем
- Массивы пиксельных данных из системной памяти распаковываются, т.е. преобразуются из какого-либо формата, в формат с необходимым числом компонент
- Далее данные масштабируются и обрабатываются пиксельными картами
- Результат сжимается и записывается в текстурную память или отправляется на этап растеризации
- Если пиксельные данные читаются из буфера кадра, над ними выполняются пиксельные операции (pixel-transfer operations)
- Существуют специальные операции копирования пикселей (pixel copy operations) для копирования данных из одной части буфера кадра в другие или из буфера кадра в текстурную память

Конвейер визуализации OpenGL



На что может быть похожа программа?





Старый vs новый стандарты OpenGL

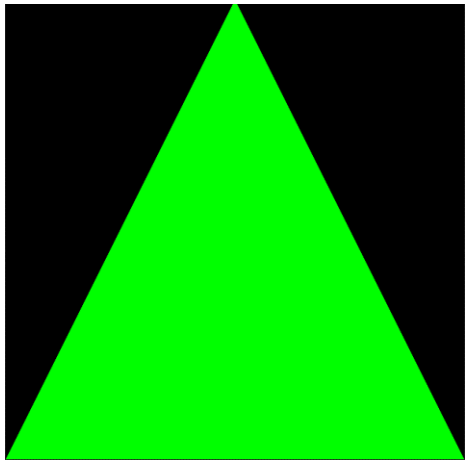
```
main() {
 Init();
 glClearColor(0.0,0.0,0.0);
 glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT);
 glColor3f(1.0,1.0,1.0);
 glOrtho(0.0,1.0,0.0,1.0,-1.0,1.0);
 glBegin(GL_POLYGON);
  glVertex3f(0.25,0.25,0.0);
  glVertex3f(0.75,0.25,0.0);
  glVertex3f(0.75,0.75,0.0);
  glVertex3f(0.25,0.75,0.0);
 glEnd();
 glFlush(); Redraw();
}
```

```
int main() {  //всего порядка 225 строк
   InitWindow();
   glewInit();
   Init();
   while (window.isOpen()) {
      …
            glViewport(0, 0, event.size.width, event.size.height);
      …
       glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
       Draw();
       window.display();
   }
   Release();
   return 0;
}
```

Типы данных

Суффиксы	Тип данных	Типично соответствующий тип языка C	Тип, определенный в OpenGL
b	целое 8 бит	signed char	GLbyte
s	целое 16 бит	short	GLshort
i	целое 32 бита	int или long	GLint, GLsizei
f	число с плавающей точкой 32 бита	float	GLfloat, GLclampf
d	число с плавающей точкой 64 бита	double	GLdouble, GLclampd
ud	беззнаковое целое 8 бит	unsigned char	GLubyte, GLboolean
us	беззнаковое целое 16 бит	unsigned short	GLushort
ui	беззнаковое целое 32 бита	unsigned int или unsigned long	GLuint, GLenum, GLbitfield

Первое приложение



На примере лабораторной, разработанной О. Арутюновым и С. Дуюновым

Необходимые идентификаторы

```
// ID шейдерной программы
GLuint Program;
// ID атрибута
GLint Attrib_vertex;


// ID Vertex Buffer Object
GLuint VBO;
```

Структура для описания вершины

```
struct Vertex {
    GLfloat x;
    GLfloat y;
};
```

Вершинный и фрагментный шейдеры

```
// Исходный код вершинного шейдера
const char* VertexShaderSource = R"(
    #version 330 core
    in vec2 coord;
    void main() {
        gl_Position = vec4(coord, 0.0, 1.0);
    }
)";
```

```
// Исходный код фрагментного шейдера
const char* FragShaderSource = R"(
    #version 330 core
    out vec4 color;
    void main() {
        color = vec4(0, 1, 0, 1);
    }
)";
```

```
int main() {
   sf::Window window(sf::VideoMode(600, 600), "My OpenGL window", sf::Style::Default, sf::ContextSettings(24));
   window.setVerticalSyncEnabled(true);
   window.setActive(true);

   glewInit();
   Init();

   while (window.isOpen()) {
      sf::Event event;
      while (window.pollEvent(event)) {
         if (event.type == sf::Event::Closed) {  window.close();  }
         else if (event.type == sf::Event::Resized) {  glViewport(0, 0, event.size.width, event.size.height);  }
      }

      glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
      Draw();

      window.display();
   }
   Release();
   return 0;
}
```

SFML

Инициализация ресурсов

```
void Init() {

   // Шейдеры
   InitShader();

   // Вершинный буфер
   InitVBO();
}
```

Инициализация буфера вершин

```
void InitVBO() {
    glGenBuffers(1, &VBO);
    // Вершины нашего треугольника
    Vertex triangle[3] = {
        { -1.0f, -1.0f },
        { 0.0f, 1.0f },
        { 1.0f, -1.0f }
    };
    // Передаем вершины в буфер
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO);
    glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER, sizeof(triangle), triangle, GL_STATIC_DRAW);

    checkOpenGLerror(); //Пример функции есть в лабораторной
   // Проверка ошибок OpenGL, если есть, то вывод в консоль тип ошибки
}
```

InitShader. Вершинный шейдер

```
void InitShader() {

    // Создаем вершинный шейдер
    GLuint vShader = glCreateShader(GL_VERTEX_SHADER);

    // Передаем исходный код
    glShaderSource(vShader, 1, &VertexShaderSource, NULL);

    // Компилируем шейдер
    glCompileShader(vShader);

    std::cout << "vertex shader \n";
    // Функция печати лога шейдера
    ShaderLog(vShader); //Пример функции есть в лабораторной

    …
```

InitShader. Фрагментный шейдер

```
…
  // Создаем фрагментный шейдер
  GLuint fShader = glCreateShader(GL_FRAGMENT_SHADER);

  // Передаем исходный код
  glShaderSource(fShader, 1, &FragShaderSource, NULL);

  // Компилируем шейдер
  glCompileShader(fShader);

  std::cout << "fragment shader \n";
  // Функция печати лога шейдера
  ShaderLog(fShader);
…
```

Шейдерная программа

```
…
  // Создаем программу и прикрепляем шейдеры к ней
  Program = glCreateProgram();

  glAttachShader(Program, vShader);
  glAttachShader(Program, fShader);

  // Линкуем шейдерную программу
  glLinkProgram(Program);

  // Проверяем статус сборки
  int link_ok;
  glGetProgramiv(Program, GL_LINK_STATUS, &link_ok);
  if (!link_ok)  {
     std::cout << "error attach shaders \n";
     return;
  }
…
```

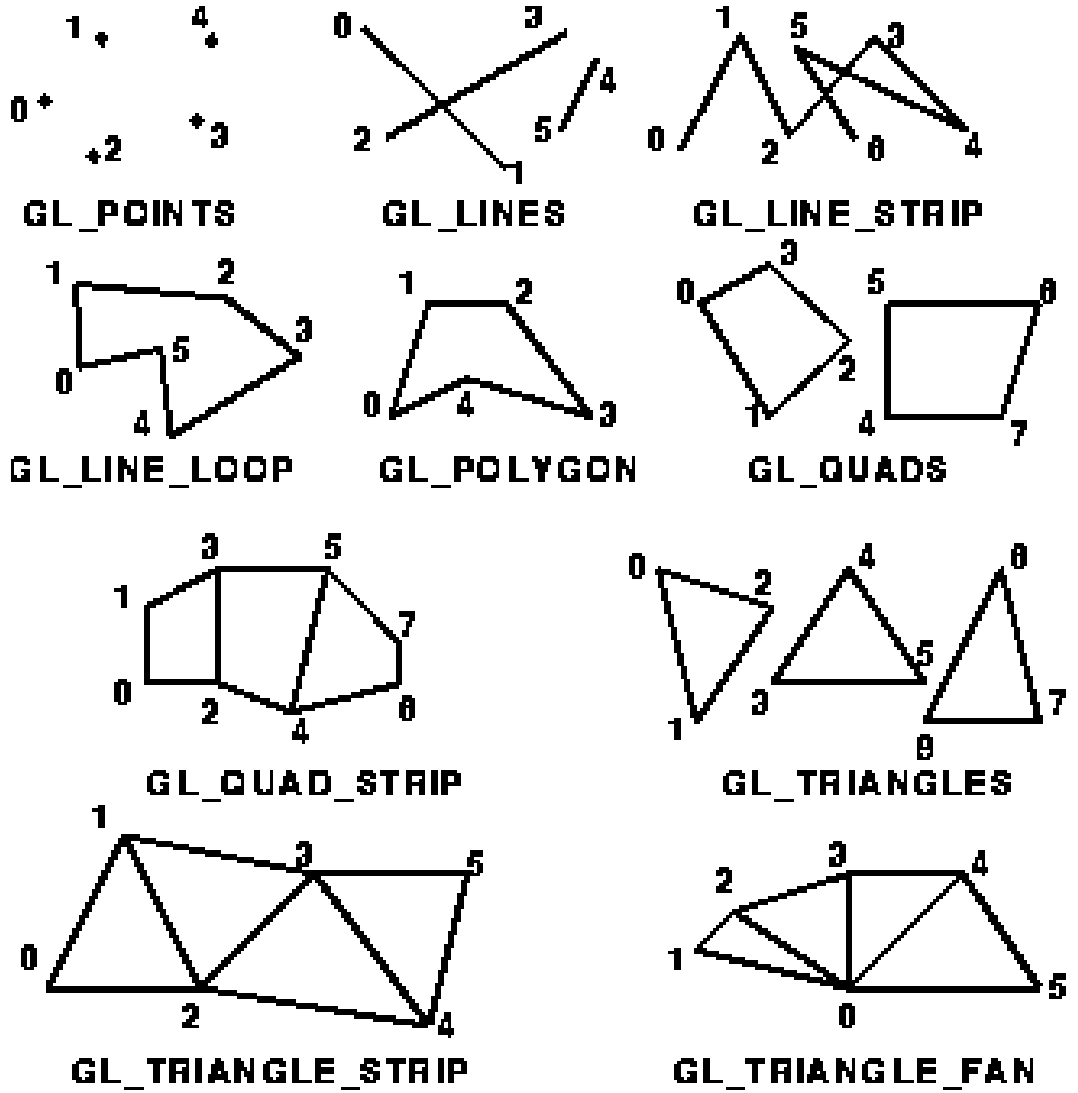
Устанавливаем связь между параметрами в программе и шейдере

```
…
 // Вытягиваем ID атрибута из собранной программы
 const char* attr_name = "coord"; //имя в шейдере

 Attrib_vertex = glGetAttribLocation(Program, attr_name);

 if (Attrib_vertex == -1) {
    std::cout << "could not bind attrib " << attr_name << std::endl;
    return;
 }

 checkOpenGLerror();
}
```

Ну а теперь рисуем

```
void Draw() {
  glUseProgram(Program); // Устанавливаем шейдерную программу текущей

  glEnableVertexAttribArray(Attrib_vertex); // Включаем массив атрибутов

  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, VBO); // Подключаем VBO
  // Указывая pointer 0 при подключенном буфере, мы указываем что данные в VBO
  glVertexAttribPointer(Attrib_vertex, 2, GL_FLOAT, GL_FALSE, 0, 0);
  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0); // Отключаем VBO

  glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3); // Передаем данные на видеокарту(рисуем)

  glDisableVertexAttribArray(Attrib_vertex);   // Отключаем массив атрибутов
  glUseProgram(0);   // Отключаем шейдерную программу

  checkOpenGLerror();
}
```

glDrawArrays(GL_TRIANGLES, 0, 3);



Освобождение ресурсов

```
void Release() {

    // Шейдеры
    ReleaseShader();

    // Вершинный буфер
    ReleaseVBO();
}
```

```
// Освобождение буфера
void ReleaseVBO()  {
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
    glDeleteBuffers(1, &VBO);
}
```

```
// Освобождение шейдеров
void ReleaseShader() {
    // Передавая ноль, мы отключаем шейдерную программу
    glUseProgram(0);
    // Удаляем шейдерную программу
    glDeleteProgram(Program);
}
```

Литература: Red Book=old Red Book+Orange Book