Алгоритмические основы мультимедийных технологий

Лекция 8

Рябинин Константин Валентинович

e-mail: icosaeder@ya.ru
jabber: icosaeder@jabber.ru

Пермь, 2012

Шейдеры

Шейдер – это микропрограмма для одной из ступеней графического конвейера, используемая для определения окончательных параметров объекта или изображения

Свойства:

- **Автономен, не является частью кода приложения**
- **На современном оборудовании выполняется на видеокарте (аппаратная поддержка)**
- **Написан на специфическом процедурном языке**
- **Предназначен для многократного вызова, но без использования многопоточности в явном виде**
- **Выполняет лишь узкоспециализированную задачу определения конкретных параметров объекта или изображения**

Назначение и достоинства

Назначение шейдеров:

- Создание визуальных эффектов
  - Превращение графического конвейера из неуправляемого в управляемый
    - → Значительное увеличение свободы управления результатом визуализации
  - Унификация механизма создания визуальных эффектов любой сложности

Достоинства шейдеров:

- Очень высокая эффективность
- Свобода создания визуальных эффектов
- Децентрализация кода
- Межпроектное переиспользование

→ В современной практике шейдеры составляют основу всех визуальных эффектов, без их применения не обходится ни одна мультимедийная система

Назначение и достоинства

Наиболее частые эффекты, создаваемые при помощи шейдеров:

- Моделирование реалистичных материалов
  - Дерево, металл, пластмасса, . . .
- Моделирование природный явлений
  - Вода, огонь, дым, . . .
- Процедурное текстурирование
  - Различные узоры, как регулярные, так и не регулярные
- Нефотореалистичный рендеринг
- Анимация формы
  - Процедурное движение, интерполяция между ключевыми кадрами, системы частиц, . . .
- Сложное текстурирование
  - Мультитекстурирование, анимации текстуры, . . .
- Сложное освещение
  - Глобальные модели освещения, тени, каустика
- Оптические эффекты
  - Отражение, преломление, дифракция, дисперсия
- Сглаживание изображения

Виды шейдеров

- **Геометрический шейдер** – микропрограмма, обрабатывающая за раз один геометрический примитив
  - → Задача: определить положение и цвета примитива
- **Вершинный шейдер** – микропрограмма, обрабатывающая за раз одну вершину
  - → Задача: определить положение и цвет вершины
- **Пиксельный (фрагментный) шейдер** – микропрограмма, обрабатывающая за раз один «фрагмент» изображения, то есть его атомарную часть (чаще всего атомарной частью изображения выступает пиксель)
  - → Задача: определить цвет фрагмента

Языки шейдеров

По сути шейдер – общее название для семейства специализированных микропрограмм

Для написания шейдеров используются специализированные языки программирования, характеризующиеся:

- **Процедурной парадигмой**
- **Тьюринг-полнотой**
- **Наличием специализированных типов данных и встроенных функций для работы с обрабатываемыми сущностями**
- **Как правило, за основу шейдерных языков берётся синтаксис C**

Языки шейдеров

Примеры языков:

- GLSL (Graphics Library Shader Language)
  - Шейдерный язык от ARB
- HLSL (High-Level Shader Language)
  - Шейдерный язык от Microsoft
- DirectX ASM
  - Шейдерный ассемблер от Microsoft
- Cg (C for Graphics)
  - Шейдерный язык от nVidia для Microsoft
- RenderMan
  - Шейдерный язык от Pixar для художников
- Gelato
  - Шейдерный язык от nVidia для художников

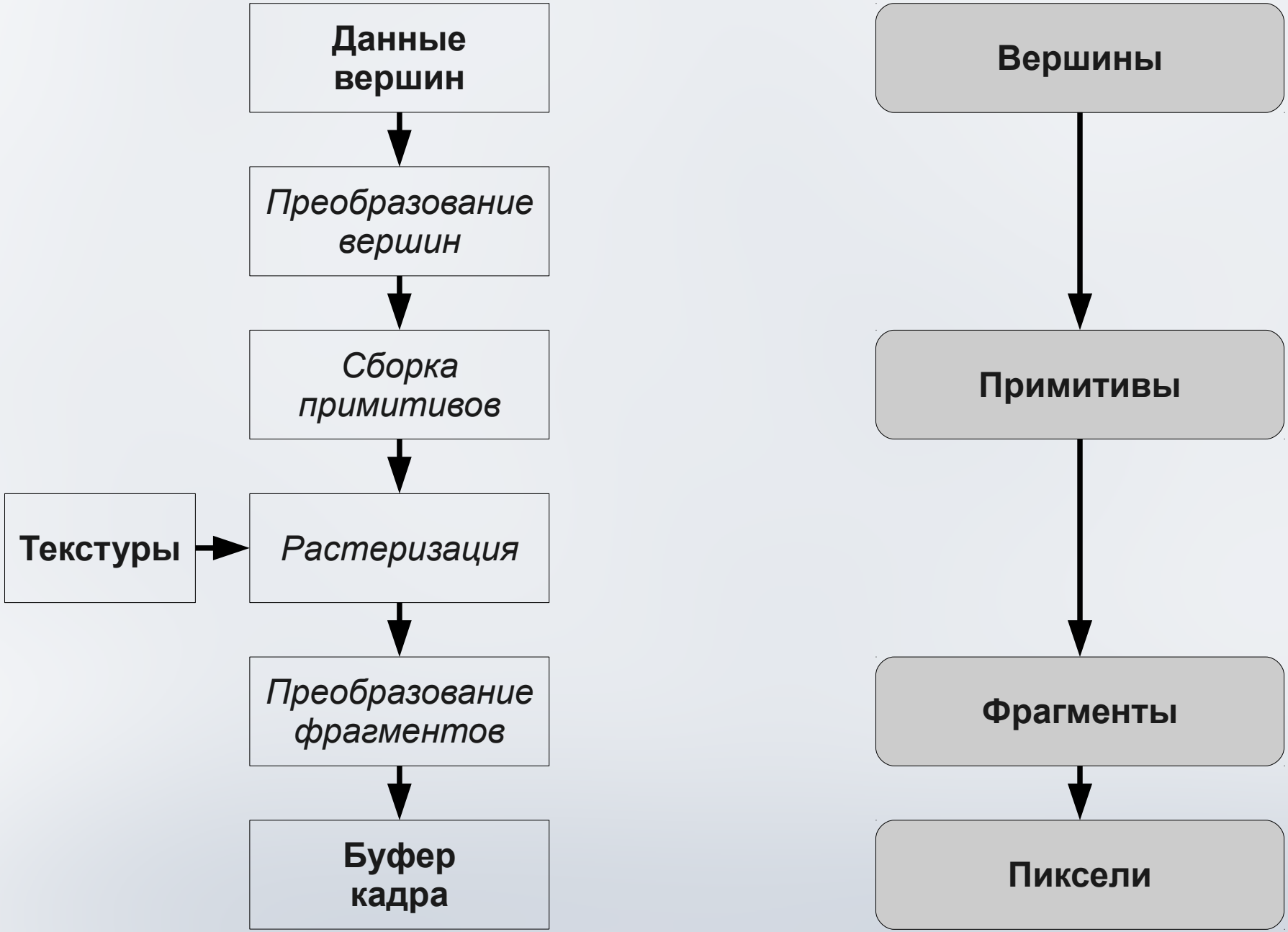
Жизненный цикл шейдера

- Загрузка из файла (или из строковой константы)
- Компиляция («на лету», во время выполнения основной программы)
- Встраивание в конвейер («активация»)
- Множественное выполнение (для каждой обрабатываемой данной ступенью конвейера сущности за один рендеринг шейдер выполняется ровно один раз)
- Отсоединение от конвейера («деактивация»)
- Удаление из памяти

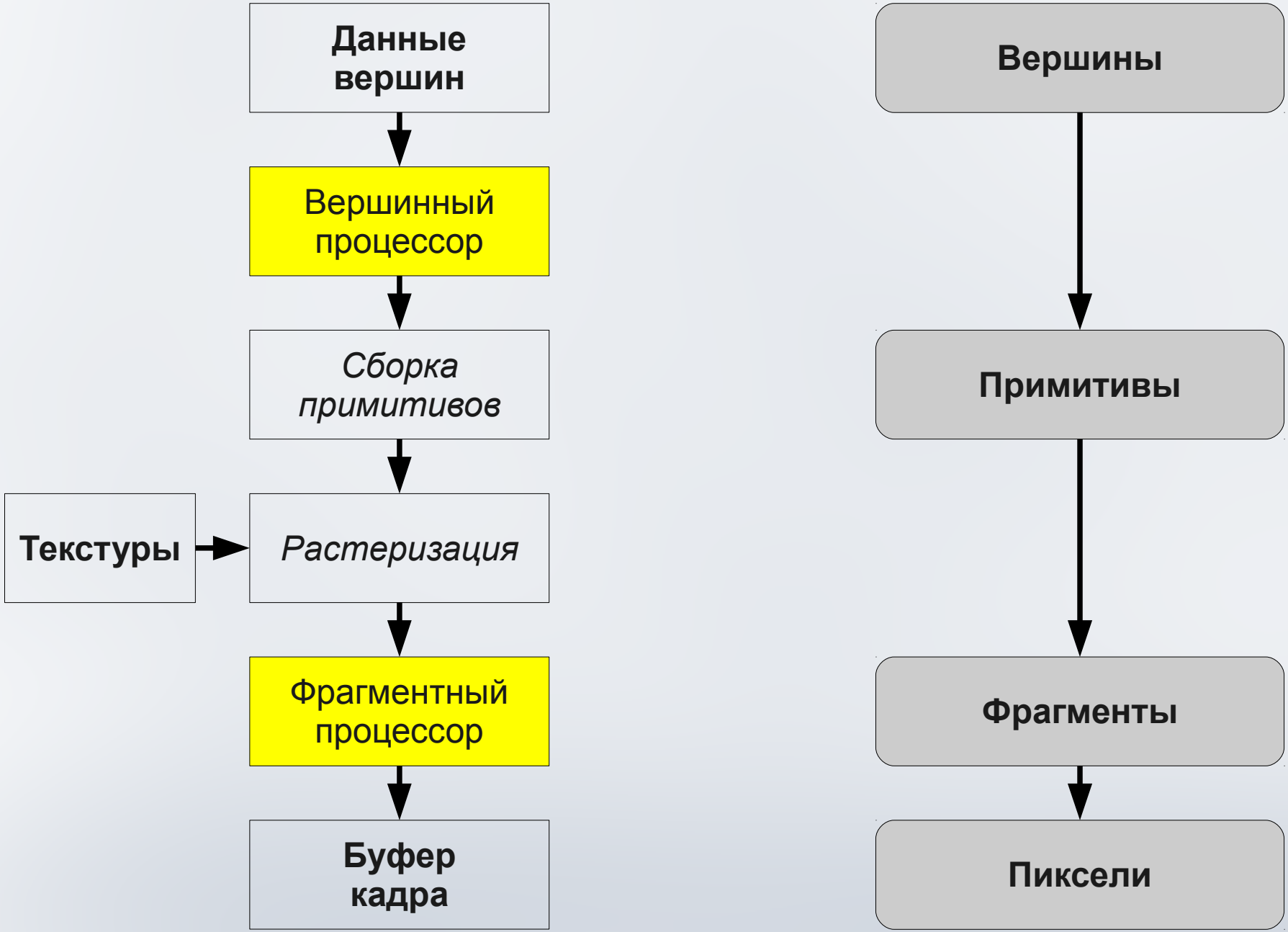
Взаимодействие шейдеров

- Помимо данных об обрабатываемой сущности шейдеры могут получать из основной программы произвольные наборы данных
  - «глобальных» (одинаковых для всех обрабатываемых сущностей)
  - «локальных» (сцепленных с сущностью, как правило при помощи массивов, индексы в которых соответствуют номерам сущностей)
- Шейдеры более раннего этапа конвейера могут подготавливать и передавать параметры шейдерам более позднего этапа

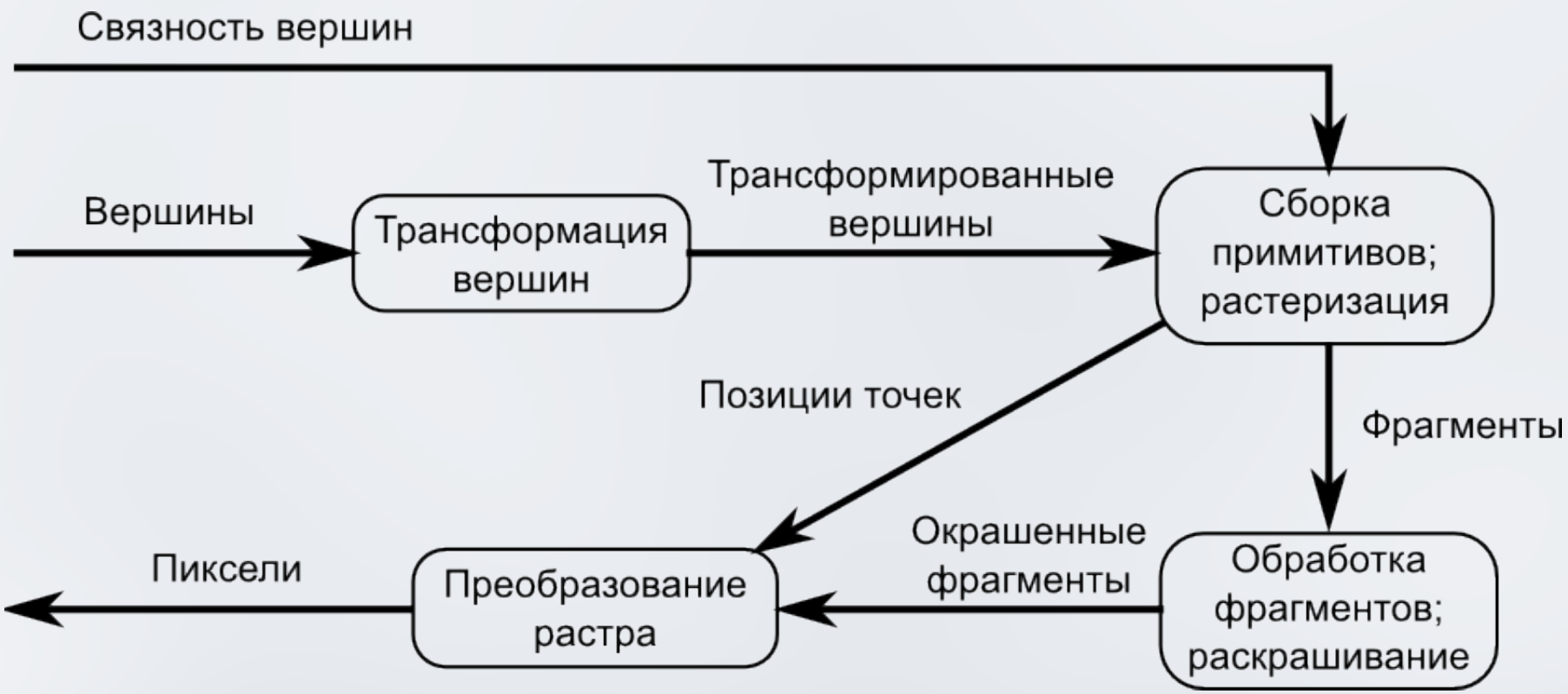
Фиксированный конвейер OpenGL



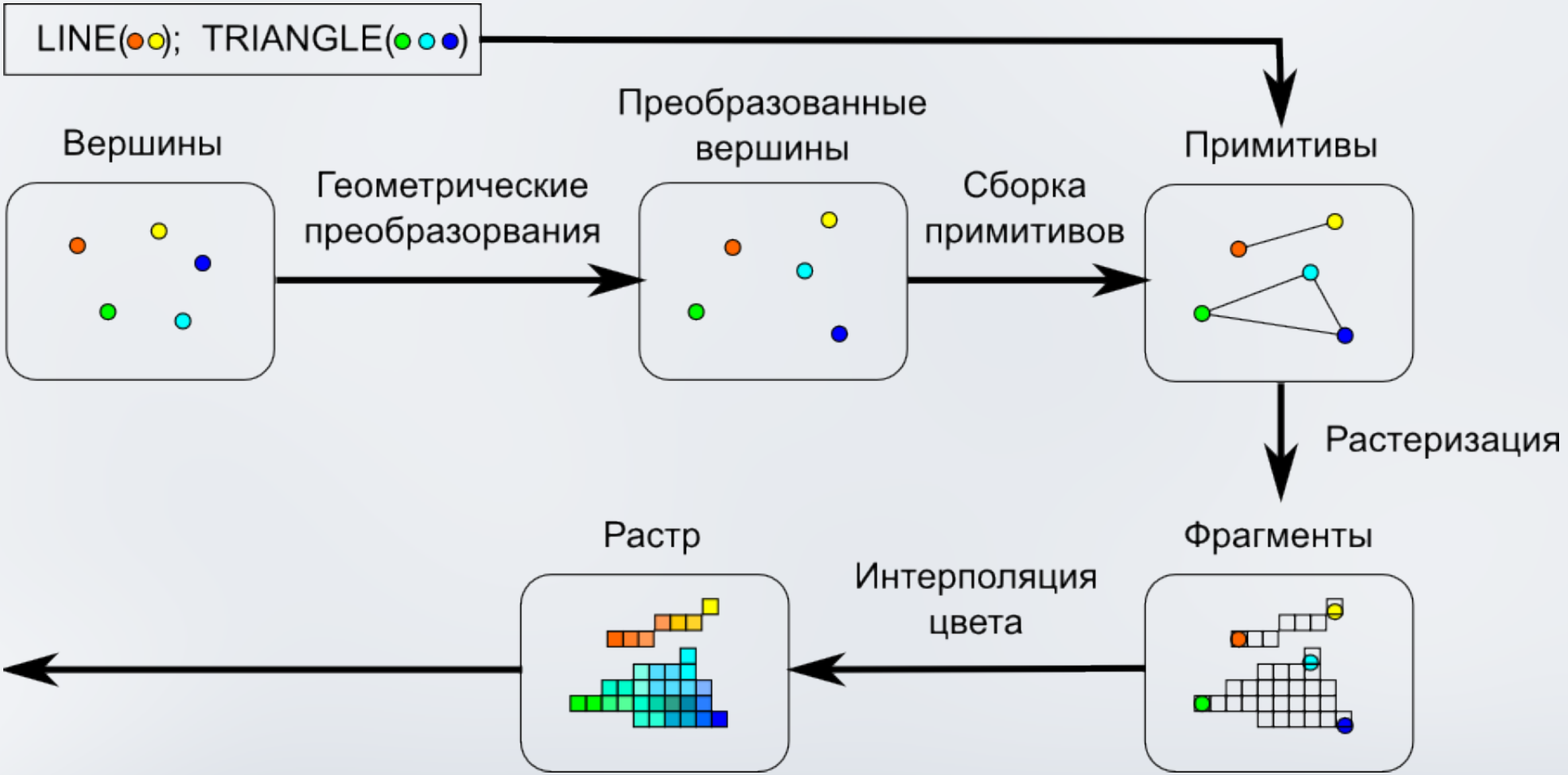
Программируемый конвейер OpenGL



Поток данных конвейера OpenGL



Поток данных конвейера OpenGL



Вершинный процессор

Вершинный процессор – это программируемый модуль, обрабатывающий вершины и связанные с ними данные

Выполняемые операции:

- **Преобразование вершин и нормалей**
- **Генерация и преобразование текстурных координат**
- **Расчёт цвета вершин (с учётом освещения и других произвольных параметров)**

→ **Программа для вершинного процессора называется вершинным шейдером**

→ **Вершинный шейдер готовит данные для фрагментного процессора**

Вершинный процессор

Вершинный процессор – это программируемый модуль, обрабатывающий вершины и связанные с ними данные

Входные и выходные данные:

- **Переменные-атрибуты (*attribute*) – передаются вершинному шейдеру от приложения для описания свойств каждой вершины**
- **Однообразные переменные (*uniform*) – используются для передачи данных как вершинному, так и фрагментному процессору. Не могут меняться чаще, чем один раз за полигон**
- **Разнообразные переменные (*varying*) – служат для передачи данных от вершинного к фрагментному процессору. Данные переменные могут быть различными для разных вершин, и для каждого фрагмента будет выполняться интерполяция**

Фрагментный процессор

Фрагментный процессор – это программируемый модуль, обрабатывающий фрагменты (пиксели) и связанные с ними данные

Выполняемые операции:

- **Операции над интерполированными значениями, полученными от вершинного процессора**
- **Наложение текстур**
- **Расчёт цвета фрагментов (с учётом освещения и других произвольных параметров)**
- **Координаты фрагмента есть константа**

→ **Программа для фрагментного процессора называется фрагментным шейдером**

Фрагментный процессор

Фрагментный процессор – это программируемый модуль, обрабатывающий фрагменты (пиксели) и связанные с ними данные

Входные и выходные данные:

- **Разнообразные переменные (*varying*) – приходят от вершинного шейдера; как встроенные, так и определенные разработчиком**
- **Однообразные переменные (*uniform*) – для передачи произвольных относительно редко меняющихся параметров**

Схема данных для вершинного процессора

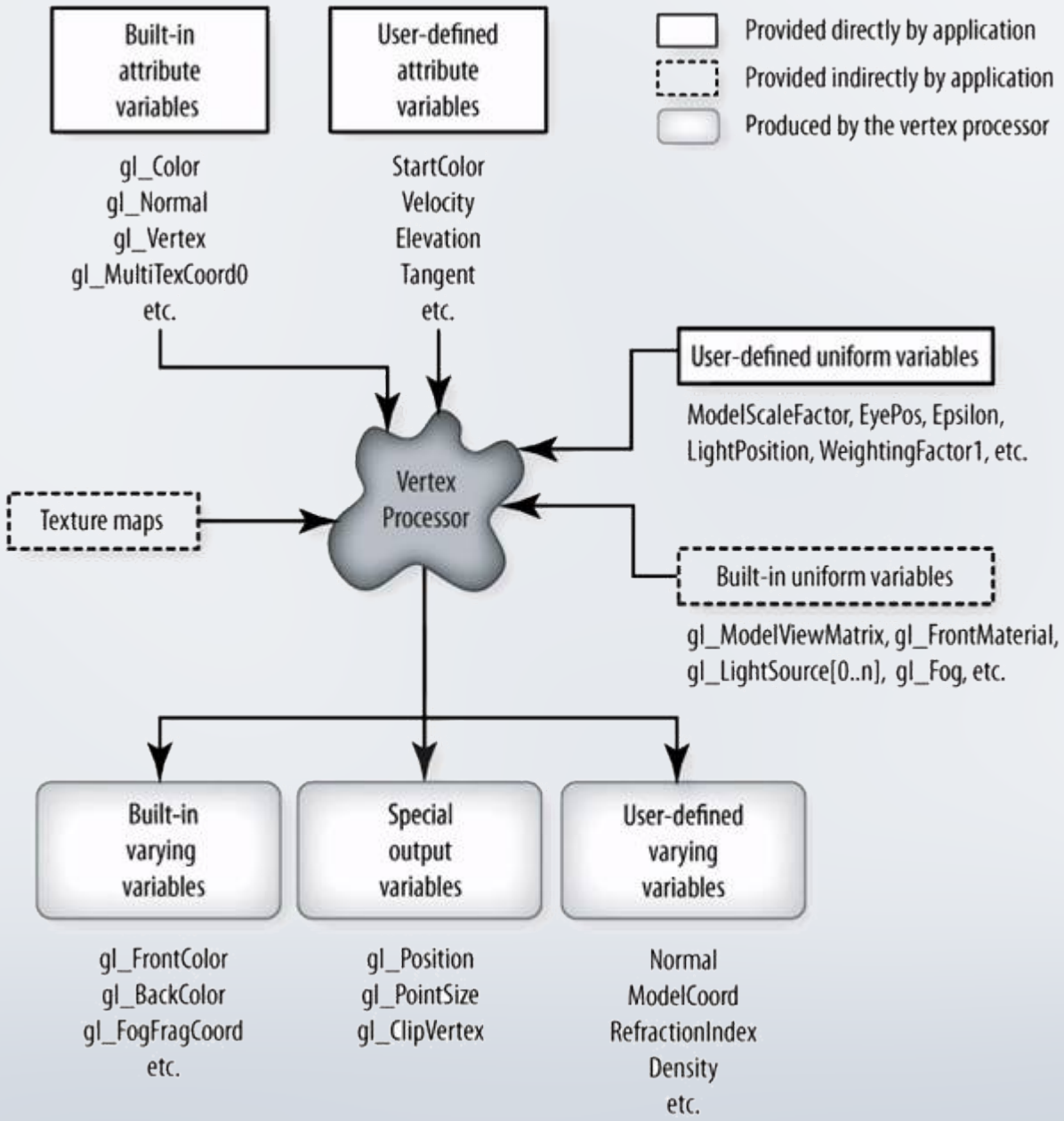
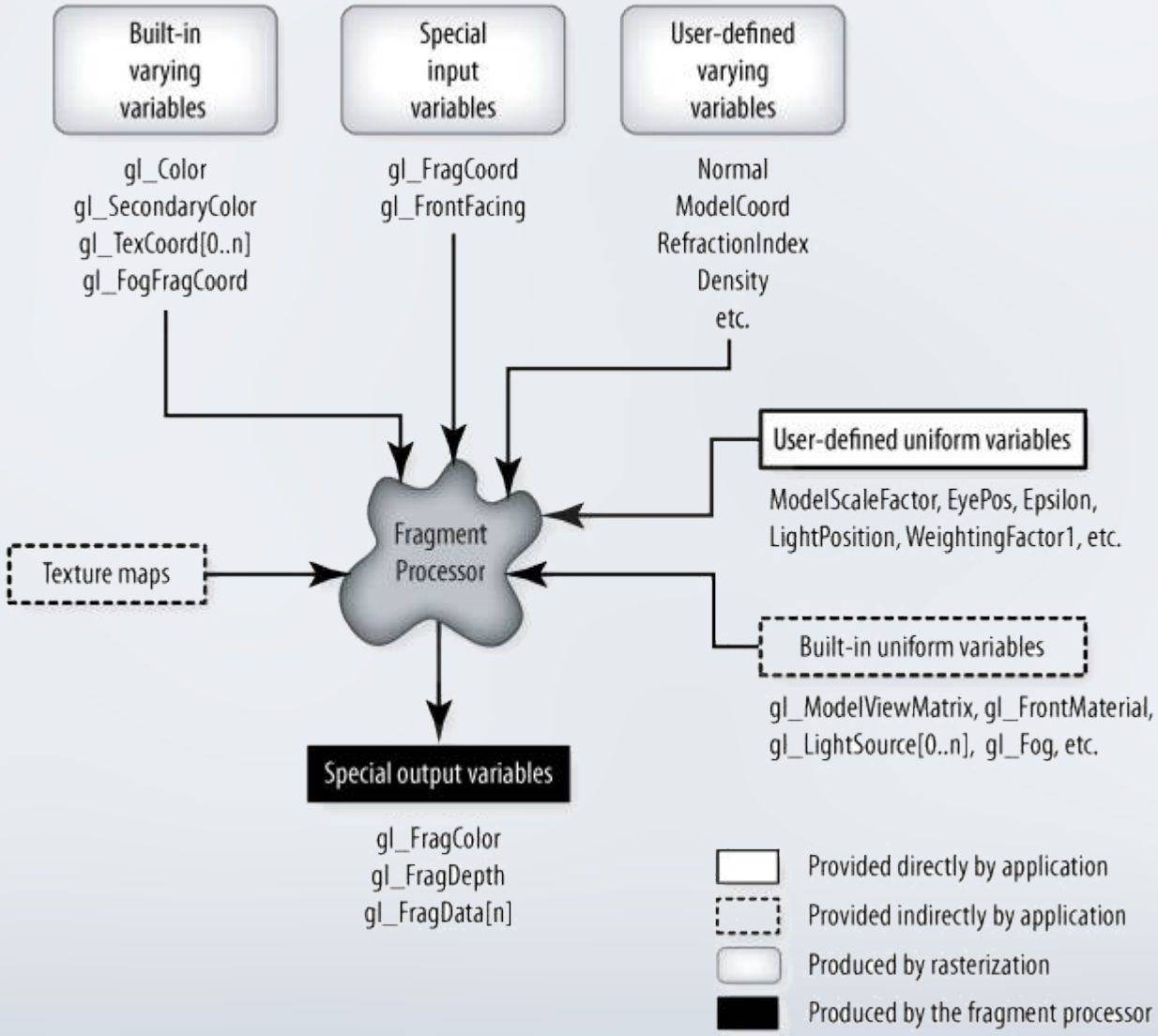


Схема данных для фрагментного процессора



Шейдерная программа

Шейдерная программа – это специализированная структура данных в OpenGL, предназначенная для хранения нескольких шейдеров разных типов для их одновременного использования

- По факту шейдерная программа используется для связки ровно двух шейдеров – одного вершинного и одного фрагментного, так как программируемый конвейер в каждый момент времени нуждается ровно в двух шейдерах
- Теоретически возможна сборка шейдера из нескольких частей, но на практике это почти не используется
- В каждый момент времени может быть активна только одна шейдерная программа
- Шейдерная программа – единственный способ использования шейдеров в OpenGL, поэтому шейдеры всегда существуют парами (каждому вершинному должен соответствовать его фрагментный)
- Порядок вызовов:
  `glCreateProgram` → `glAttachShader` → `glAttachShader` → `glLinkProgram` → `glUseProgram`

Язык GLSL

GLSL – это высокоуровневый процедурный язык программирования для вершинного и фрагментного процессоров OpenGL

Характеристика

- Программы на GLSL представляют собой абстракцию от аппаратного обеспечения
- Компилятор GLSL является частью библиотеки стандарта OpenGL и генерирует оптимизированный под конкретную видеокарту код
- GLSL основан на синтаксисе C и является чисто процедурным
- Начало выполнения программы – функция `void main()`
- Спецификация языка (от 02.09.2011): http://www.opengl.org/registry/doc/GLSLangSpec.4.20.8.clean.pdf

Типы данных GLSL

- Для типов существуют квалификаторы точности
  - lowp – низкая точность
  - mediump – средняя точность
  - highp – высокая точность
- Скалярные (базовые типы)
  - float – вещественное число:
    - lowp float: [-2; 2] mediump float: [-2^14; 2^14] highp float: [-2^62; 2^62]
  - int – целое число
    - lowp int: [-2^8; 2^8] mediump int: [-2^10; 2^10] highp int: [-2^16; 2^16]
  - bool – логическое значение
  - Особенности:
    - Отсутствие неявных приведений типа:

```
float a = 1; // порождает ошибку
float b = 1.0, c = float(1);
```

    - Тип int не всегда поддерживается аппаратно (в общем случае – обёртка над float), поэтому результат переполнения, вообще говоря, не определён
    - Отсутствуют побитовые операции
    - Тип bool – обёртка над int, то есть, в общем случае, так же обёртка над float

Типы данных GLSL

- **Векторы**
  - vec2, vec3, vec4 – вещественные вектора на 2, 3 и 4 компоненты
  - ivec2, ivec3, ivec4 – целочисленные вектора на 2, 3 и 4 компоненты
  - bvec2, bvec3, bvec4 – логические вектора на 2, 3 и 4 компоненты
  - Особенности:
    - Реализована перегрузка операций сложения и вычитания векторов, причём код оптимизируется и выполняется GPU за O(1)
    - Инициализация вектора может быть осуществлена при помощи конструкторов вида

```
vec3 a = vec3(0.1, 0.2, 0.3);
vec4 b = vec4(a, 0.4);
vec2 c = vec2(a); // будут взяты первые две компоненты
```

    - Для доступа к компонентам можно использовать индекс:

```
vec3 a; a[1] = 0.5;
```

      либо мнемонические поля (x, y, z, w ~ r, g, b, a ~ s, t, p, q):

```
vec3 a; a.y = 0.5;
```

    - Существуют вспомогательные поля, предоставляющие доступ к любому подмножеству значений в любой последовательности:

```
vec3 a, b;
a.xy = b.zy = vec2(0.5, 0.8);
vec3 c = vec3(0.9, a.xy);
```

    - Мнемоника полей существует лишь для пользователя, представляя собой обёртку доступа к данным

Типы данных GLSL

- Матрицы
  - mat2 – вещественная матрица 2x2
  - mat3 – вещественная матрица 3x3
  - mat4 – вещественная матрица 4x4
  - Особенности:
    - Реализована перегрузка операций сложения, вычитания и умножения матриц
    - Реализована перегрузка операции умножения матрицы на вектор
    - Матрица хранится по столбцам и могут быть рассмотрены как массив векторов-столбцов
    - Как правило, матрицы приходят в шейдер из основной программы и используются для произведения аффинных преобразований

Типы данных GLSL

- **Дискретизаторы – специализированные структуры данных для доступа к текстурам**
  - **sampler1D – предоставляет доступ к одномерной текстуре**
  - **sampler2D – предоставляет доступ к двухмерной текстуре**
  - **sampler3D – предоставляет доступ к трехмерной текстуре**
  - **samplerCube – предоставляет доступ к кубической текстуре**
  - **Особенности:**
    - **Дискретизатор приходит в шейдер извне через *uniform*-переменную и не может быть изменён внутри шейдера**
    - **Используется для доступа к текстуре**
    - **Для извлечения данных из дискретизатора используются специализированные фцнкции, например:**

```
// fragment shader
uniform sampler2D tex;
void main()
{
   vec4 color = texture2D(tex, gl_TexCoord[0].st);
   gl_FragColor = color;
}
```

Типы данных GLSL

- **Структуры**
  - `struct Light { vec3 position; vec3 color; };`
  - **Особенности:**
    - **Структуры, фактически, полностью идентичны структурам в C**
    - ***union* и *enum* зарезервированы в качестве ключевых слов, но пока не поддерживаются**
- **Массивы**
  - ```
    float a[10];
    vec4 points[5];
    ```
  - **Особенности:**
    - **Можно объявлять массивы любых типов**
    - **Массивы являются статическими**
- **Void – тип для функций, не возвращающих значения**

→ **Более никаких типов в GLSL нет; динамическое выделение памяти (указатели) не поддерживается; строки и абстрактные типы не предусмотрены**
    ```

Встроенные функции GLSL

- Перегрузка операций для векторных и матричных типов данных
- Функции над векторами:
  - dot – скалярное произведение
  - normalize – нормирование вектора
  - reflect – отражение вектора относительно вектора
  - refract – преломление вектора относительно вектора с коэффициентом преломления
  - length – длина вектора
  - distance – расстояние между двумя точками
  - . . .

Встроенные функции GLSL

- Функции над матрицами:
  - determinant – определитель матрицы
  - transpose – транспонированная матрица
  - inverse – обратная матрица
  - . . .
- Тригонометрические фцнкции
  - sin, cos, tan – функции
  - asin, acos, atan – аркфункции
  - radians, degrees – перевод из градусов в радианы и обратно
  - . . .
- Гиперфункции
  - sinh, cosh, tanh – функции
  - asinh, acosh, atanh – аркфункции
  - . . .

Встроенные функции GLSL

- Математические функции
  - pow – возведение произвольную в степень
  - exp – экспонента
  - log – натуральный логарифм
  - sqrt – квадратный корень
  - clamp – ограничение значения
  - abs – моудль
  - ceil, floor, round – округление в разные стороны
  - sign – сигнум
  - min, max – минимум, максимум
  - . . .
- . . .