

Введение в Шейдеры

Компьютерная графика

Шейдер. Перевод с английского

сущ	оттенок м, тень ж, тон м, нюанс м, полумрак м different shades – разные оттенки cool shade – прохладная тень red shade – красный тон delicate shade – тонкий нюанс pleasant shade – приятный полумрак
гл	затенять

Шейдер. Что это?

shader схема затемнения, программа построения теней

Определение из Wiki

Программа для **одной из ступеней графического конвейера**, используемая в трёхмерной графике для определения окончательных **параметров объекта или изображения**

Впервые — RenderMan

Впервые программируемые шейдеры были представлены в RenderMan компании Pixar

RenderMan создан компанией Pixar и используется с 1986 года

Существуют коннекторы к большинству программ 3d-моделирования: Autodesk Maya, Cinema 4D.

Начиная с 23 марта 2015 года студия Pixar начала бесплатное распространение полнофункциональной версии RenderMan для некоммерческого использования

RenderMan

Программный продукт, пакет программ, промышленный стандарт рендеринга для 3D-анимации.

Тип	система рендеринга
Разработчик	Pixar
Операционная система	Microsoft Windows, Mac OS X, Linux
Последняя версия	23.4 / июль, 2020
Лицензия	Проприетарное программное обеспечение
Сайт	renderman.pixar.com

RenderMan использован в фильмах

В поисках Дори (2016)
Аватар (2009)
2012 (2009)
ВАЛЛ-И (2008)
Гарри Поттер и Орден Феникса (2007)
Пираты Карибского моря: На краю Света (2007)
Рататуй (2007)
Лови волну! (2007)
Трансформеры (2007)
Король лев (1994)
Маска (1994)
Парк юрского периода (1993)
Аладдин (1992)
Терминатор 2: Судный день (1991)
Университет монстров (2013)

«Бэтмен» (The Batman, 2022)
«Дюна» (Dune, 2021)
«Человек-паук: Паутина вселенных» (Spider-Man: Across the Spider-Verse, 2023)
«Душа» (Soul, 2020)
«Лука» (Luca, 2021)

«Дюна: Часть вторая» (Dune: Part Two, 2024)
«Планета обезьян: Новое царство» (Kingdom of the Planet of the Apes, 2024)
«Майор Гром: Игра» (2024)

Только 2025

Back in Action

Elio

F1

Jurassic World Rebirth

Lilo & Stitch

Mission: Impossible - The Final Reckoning

Snow White

Superman

The Amateur

The Electric State

The Fantastic Four: First Steps

Thunderbolts

Tron: Ares

<https://renderman.pixar.com/movies>

Появление видеоакселераторов

Ограничение тем набором эффектов, который заложен в аппаратное обеспечение

Вода в Quake 2 на программном рендеринге — эффект плеска воды

Вода на OpenGL-рендеринге — просто синий светофильтр

В Counter-Strike 1.6 эффект ослепления от светошумовой гранаты на программном рендеринге — белая вспышка и пикселизированный экран

В Counter-Strike 1.6 эффект ослепления от светошумовой гранаты на аппаратном рендеринге — белая вспышка

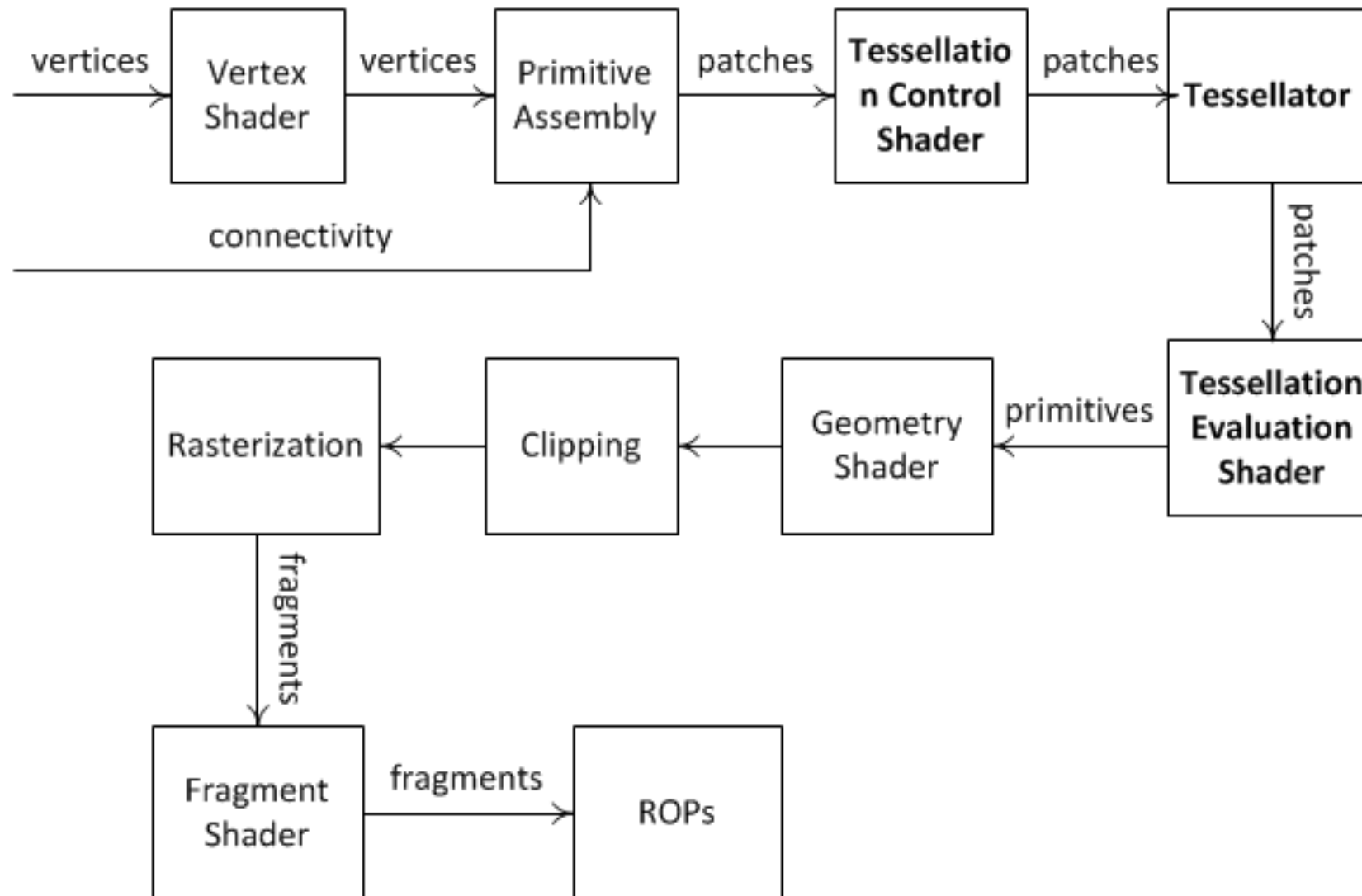
Пути преодоления ограничения

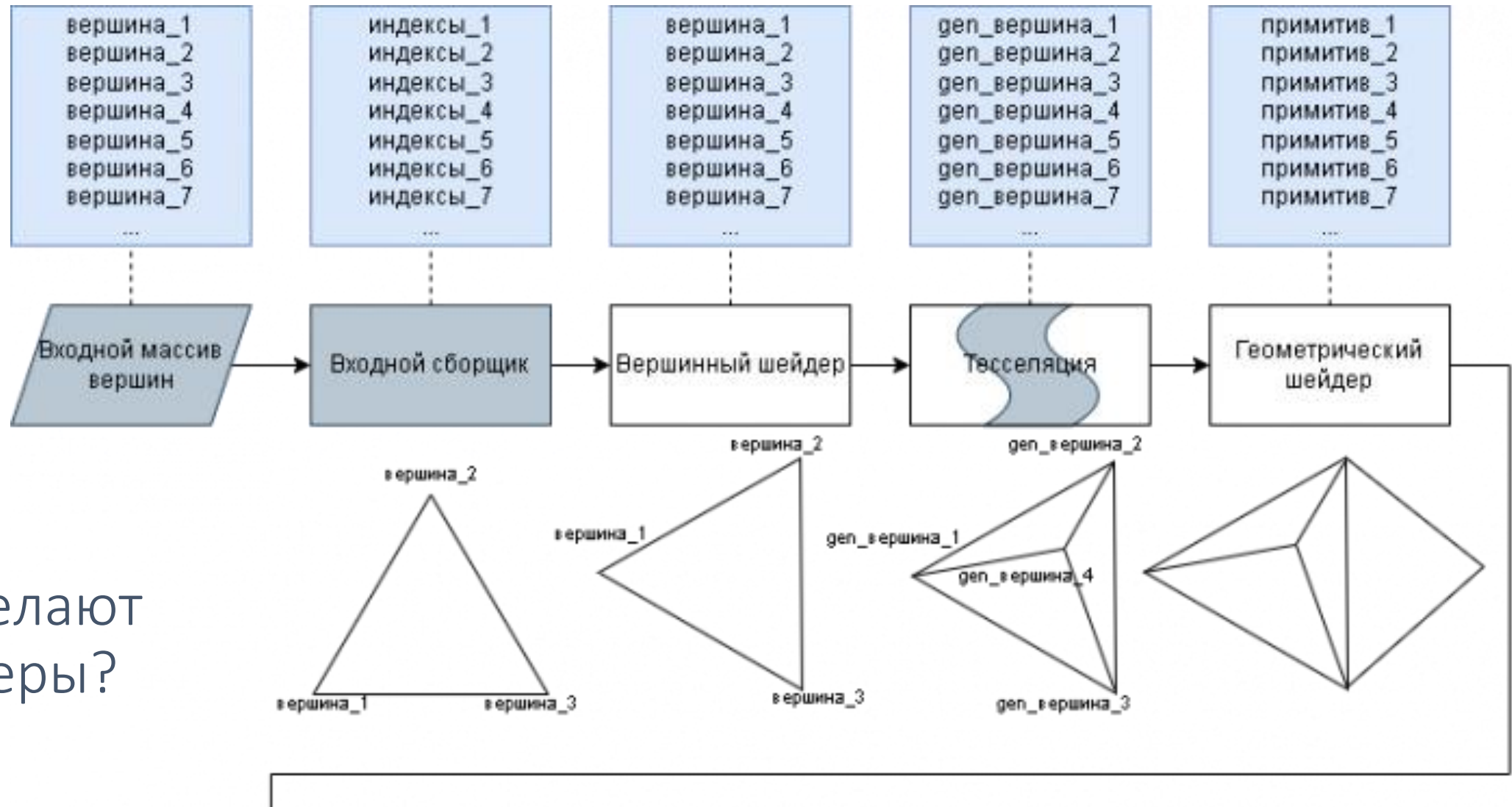
- Расширять набор стандартных эффектов
- Реализовывать сложные эффекты из простых операций на уровне видеокарты

Типы шейдеров

- Вершинные шейдеры (Vertex Shader)
- Тесселяционные шейдеры (Tessellate Shader)
- Геометрические шейдеры (Geometry Shader)
- Пиксельные шейдеры (Pixel Shader)

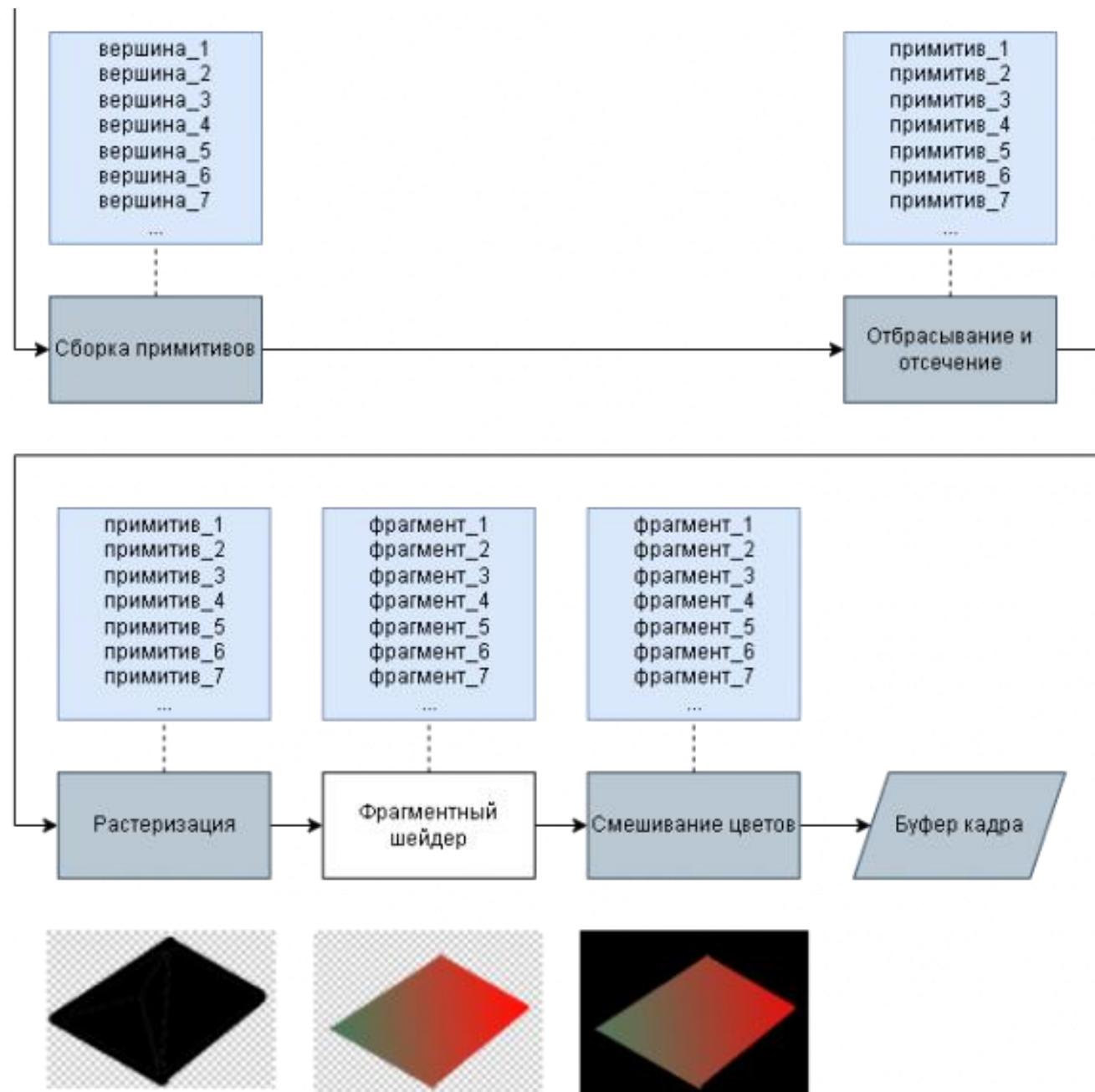
Схема шейдеров





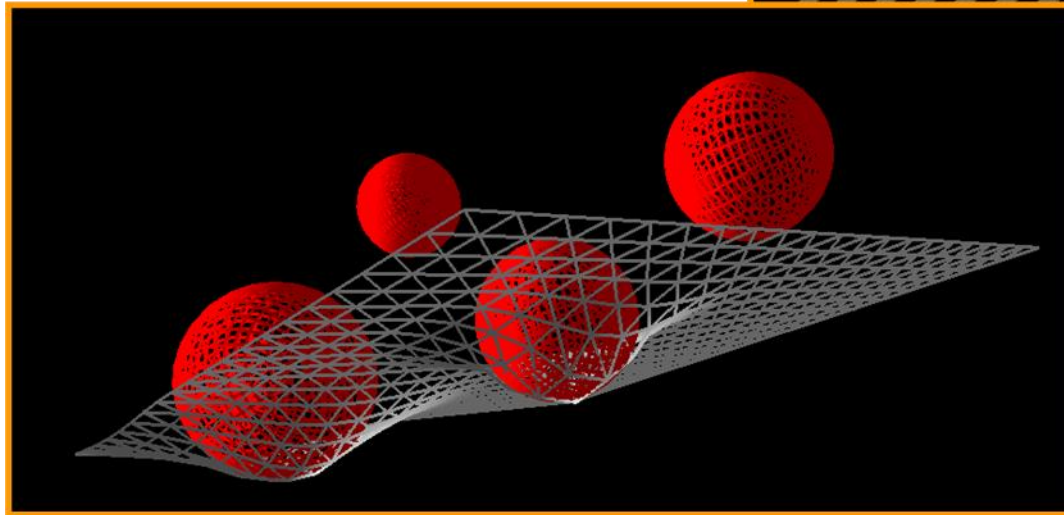
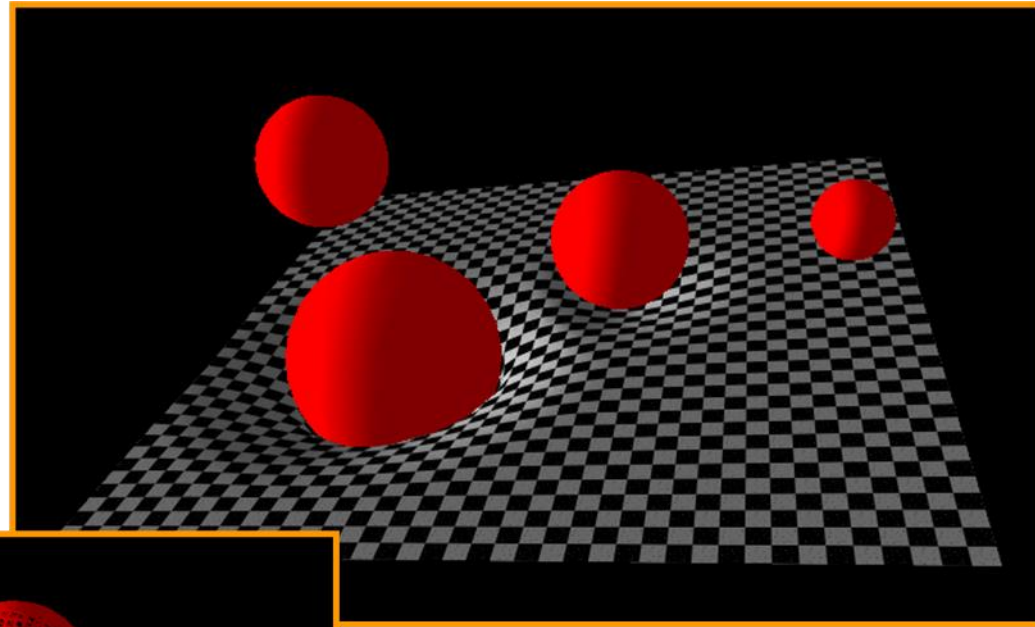
Что делают шейдеры?

Что делают
шейдеры?

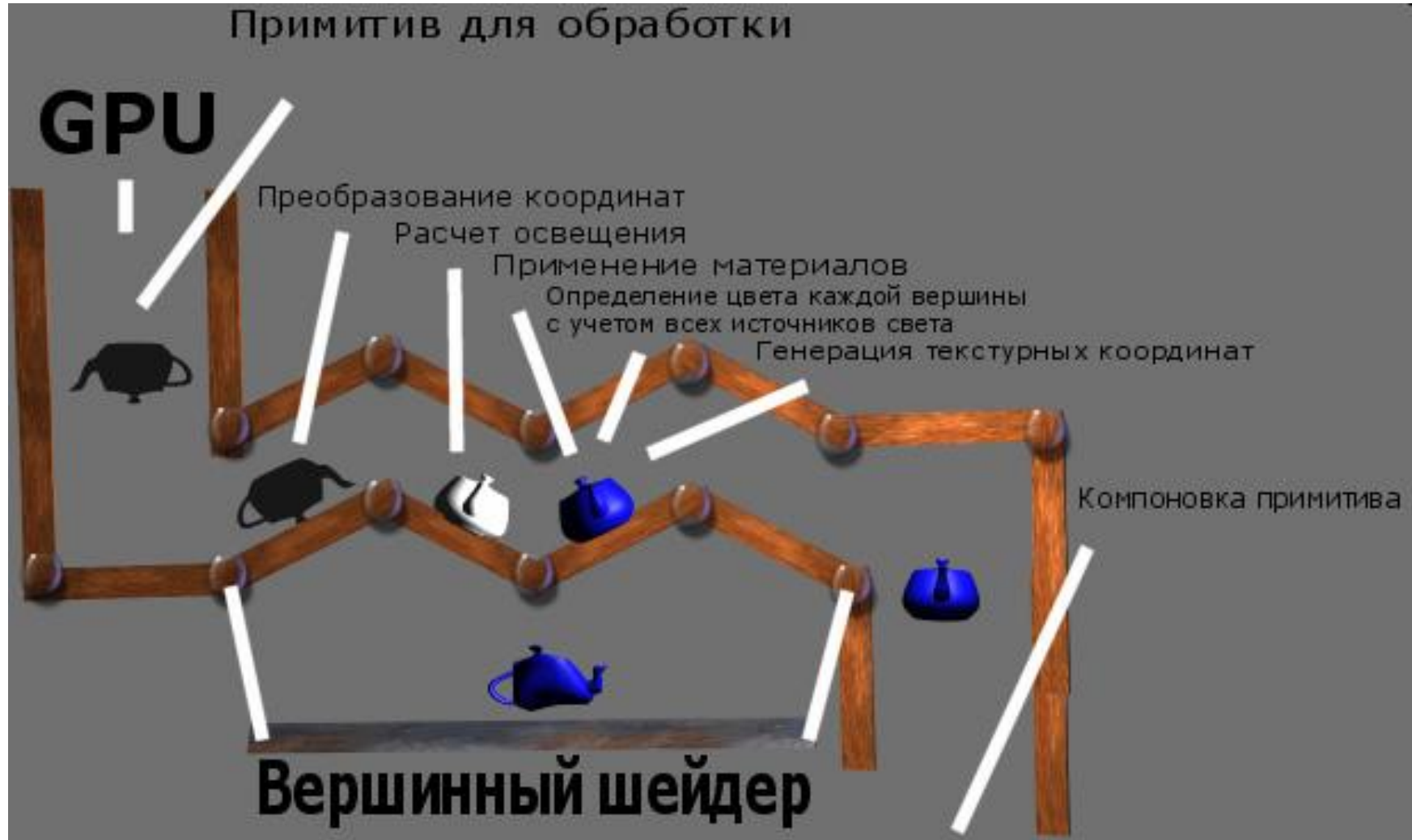


Примеры использования шейдеров

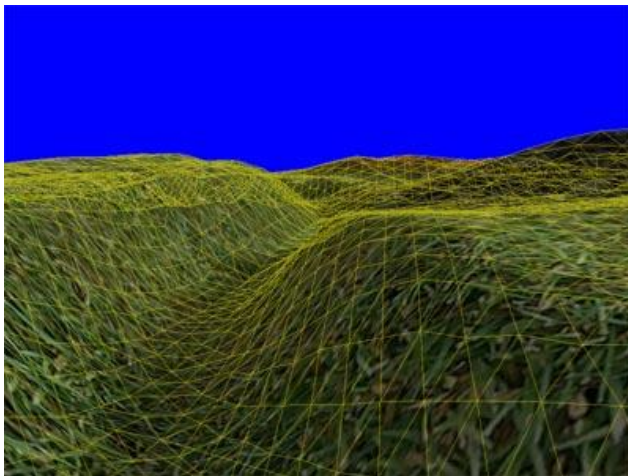
Морфинг



Функции вершинного шейдера



Вершинные шейдеры. Основное



Координаты вершины в пространстве, текстурные координаты, вектор касательной, вектор бинормали, вектор нормали

Для видового и перспективного преобразования вершин, генерации текстурных координат, расчета освещения и т. д.

Каждая вершина обрабатывается, не имея никакой информации об остальных вершинах

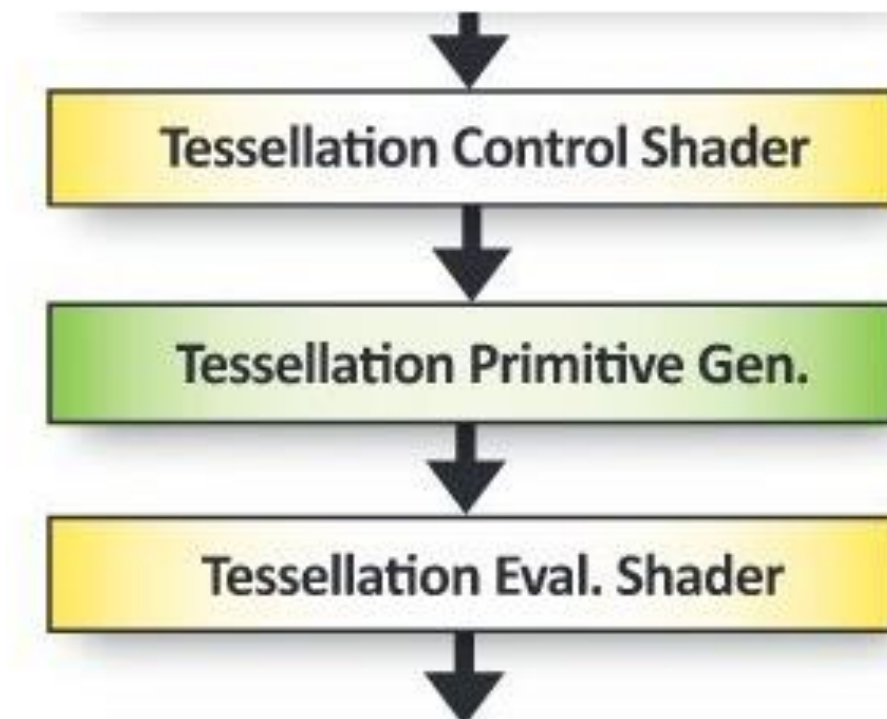
Легко распараллеливать обработку вершин

Ограничения вершинных шейдеров

Не может создавать новые вершины и удалять существующие

Не обладает топологической информацией (границы и ребра, соседние вершины)

Тесселяция примитивов



Тесселяционные шейдеры — воздействуют на партии вершин одновременно, чтобы добавить детали, например, разбить модель на более мелкие группы треугольников или других примитивов во время выполнения, улучшить такие вещи, как кривые и выпуклости, или изменить другие атрибуты.

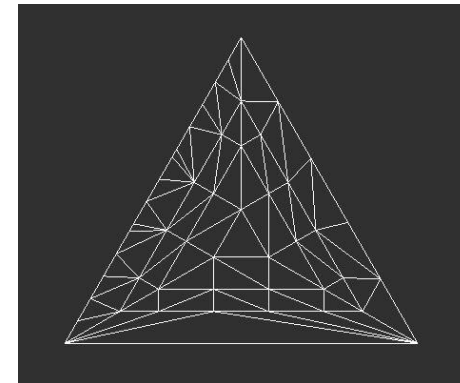
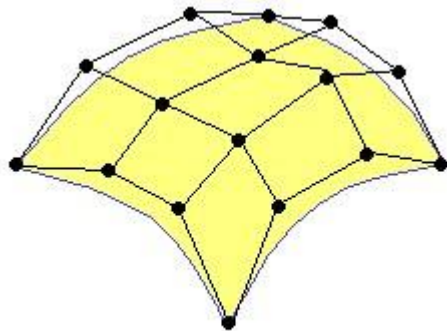
Tessellation Control Shader

Задача данного шейдера — задать параметры для тесселятора и tessellation evaluation shader'a

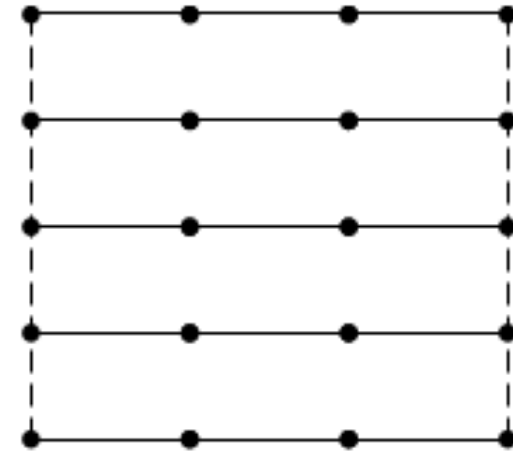
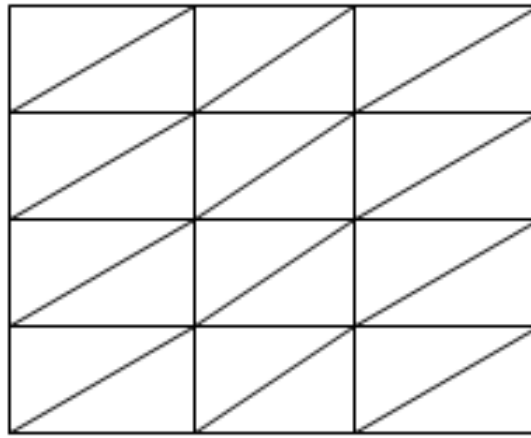
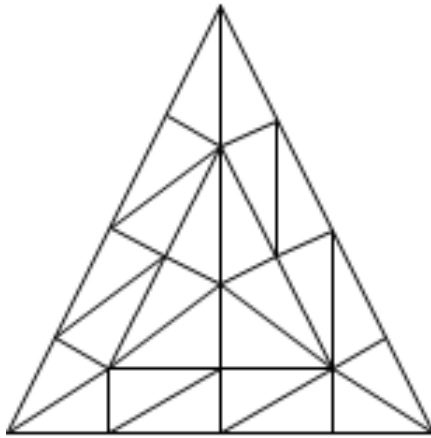
Позволяет задавать параметры для тесселятора

Вызывается для каждой вершины патча

Имеет доступ ко всем его вершинам



Тесселяция примитивов



Три типа тесселляции примитивов - triangles, quads и isolines

Tessellation Evaluation Shader — Согласование уровней тесселяции для набора патчей

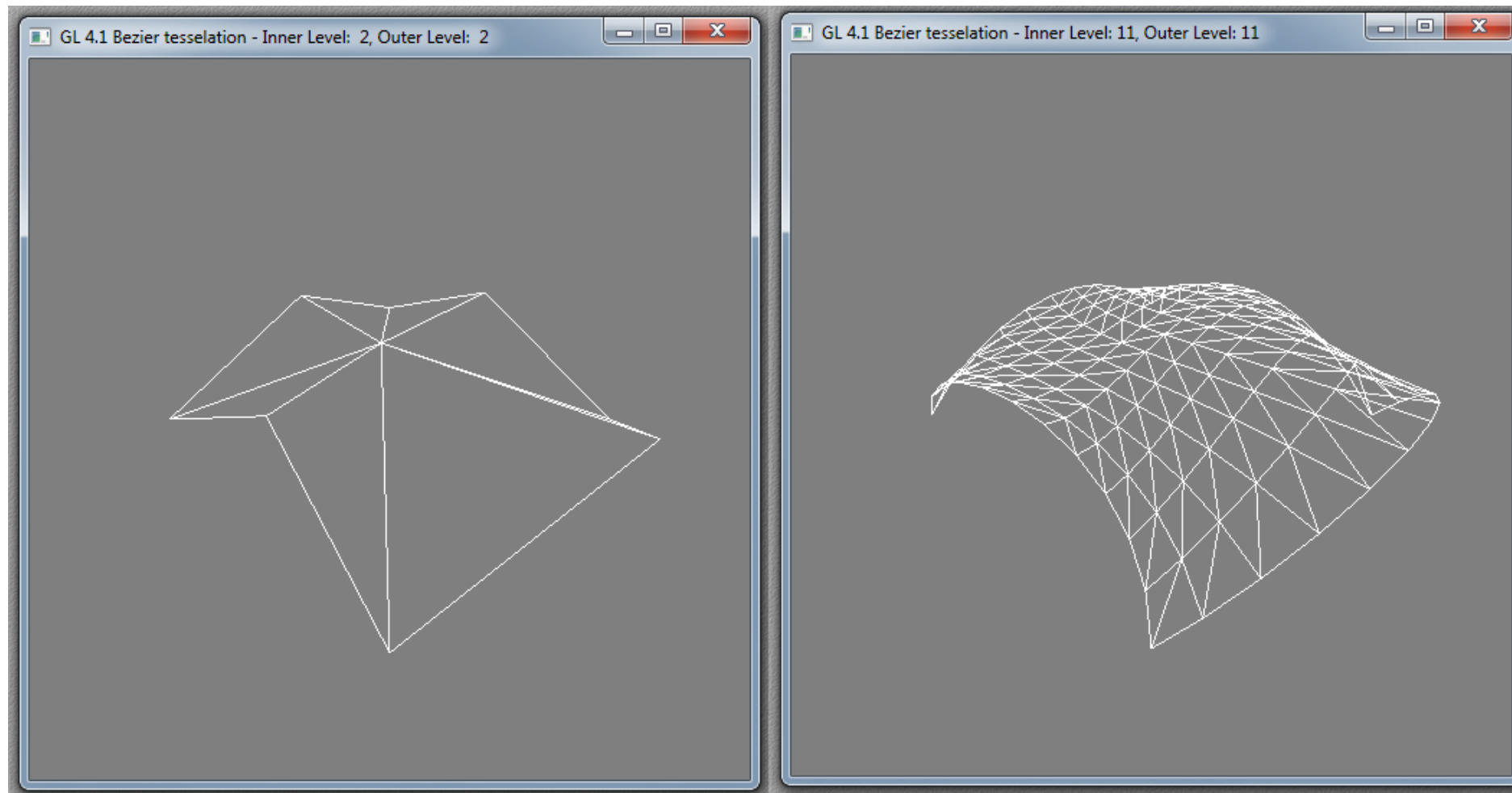
4	5	6
4	5	6
4	5	6
4	5	6
5	6	7
5	6	6

Зачем всё это нужно?

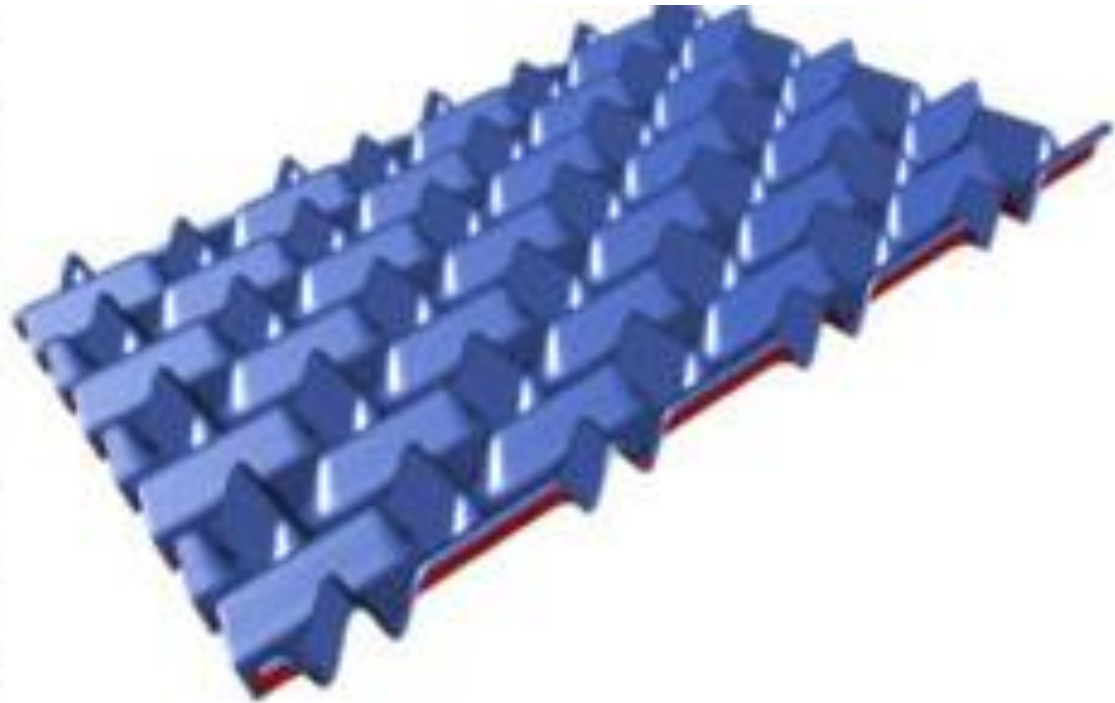
- Уровень детализации (LOD): Объекты вдали остаются «дешевыми» (мало полигонов), а близкие становятся очень детальными. Это экономит производительность.
- Сглаживание: Превращает грубые низкополигональные модели в гладкие поверхности.
- Динамическая геометрия: Можно делать эффекты вроде раскалывания земли, когда трещины появляются и усложняются прямо по ходу действия.

В двух словах: Тесселяционный шейдер — это умная система на видеокарте, которая сама добавляет новые треугольники туда, где они нужны, и убирает оттуда, где их не видно.

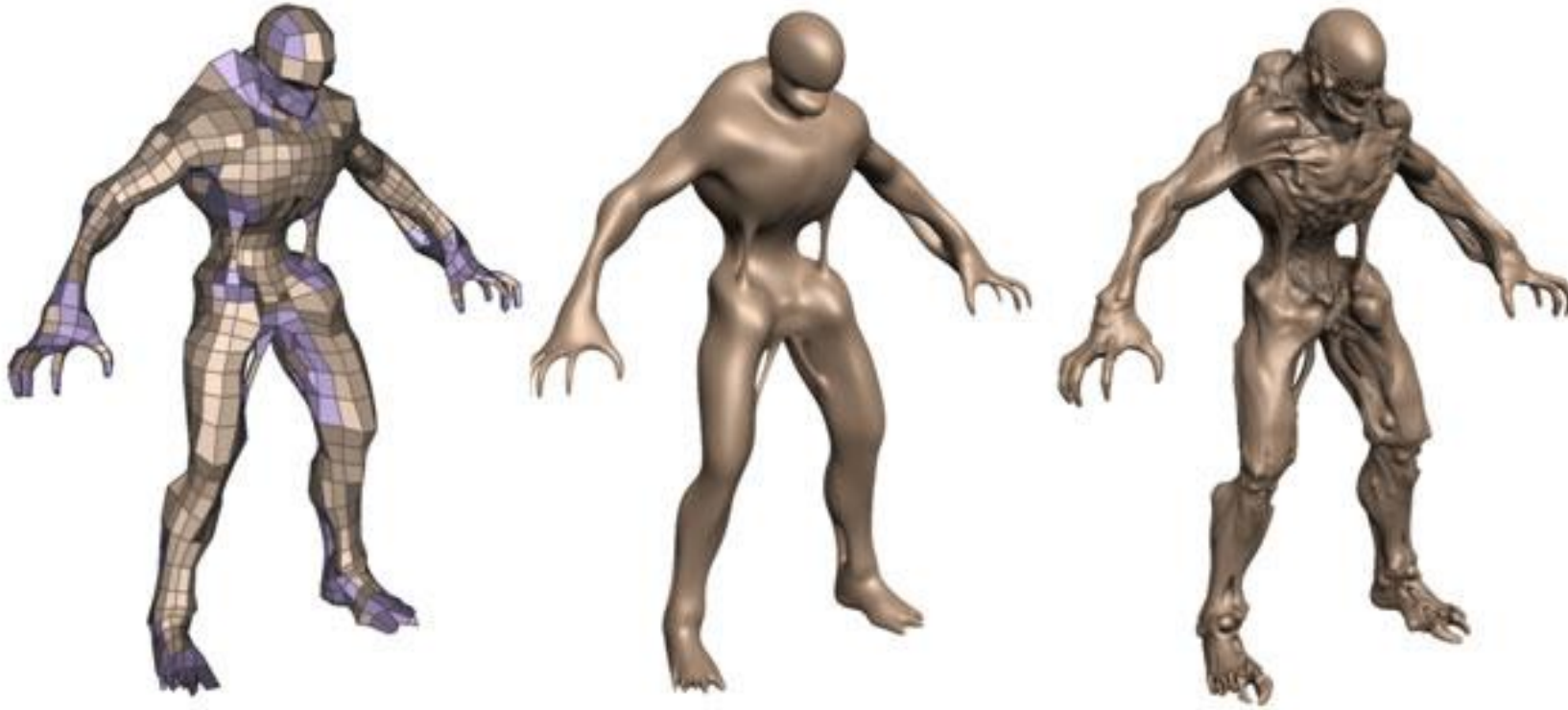
Поверхности Безье с разными уровнями тесселяции



Применение карты смещения (слева) к плоской поверхности



Применение тесселяции



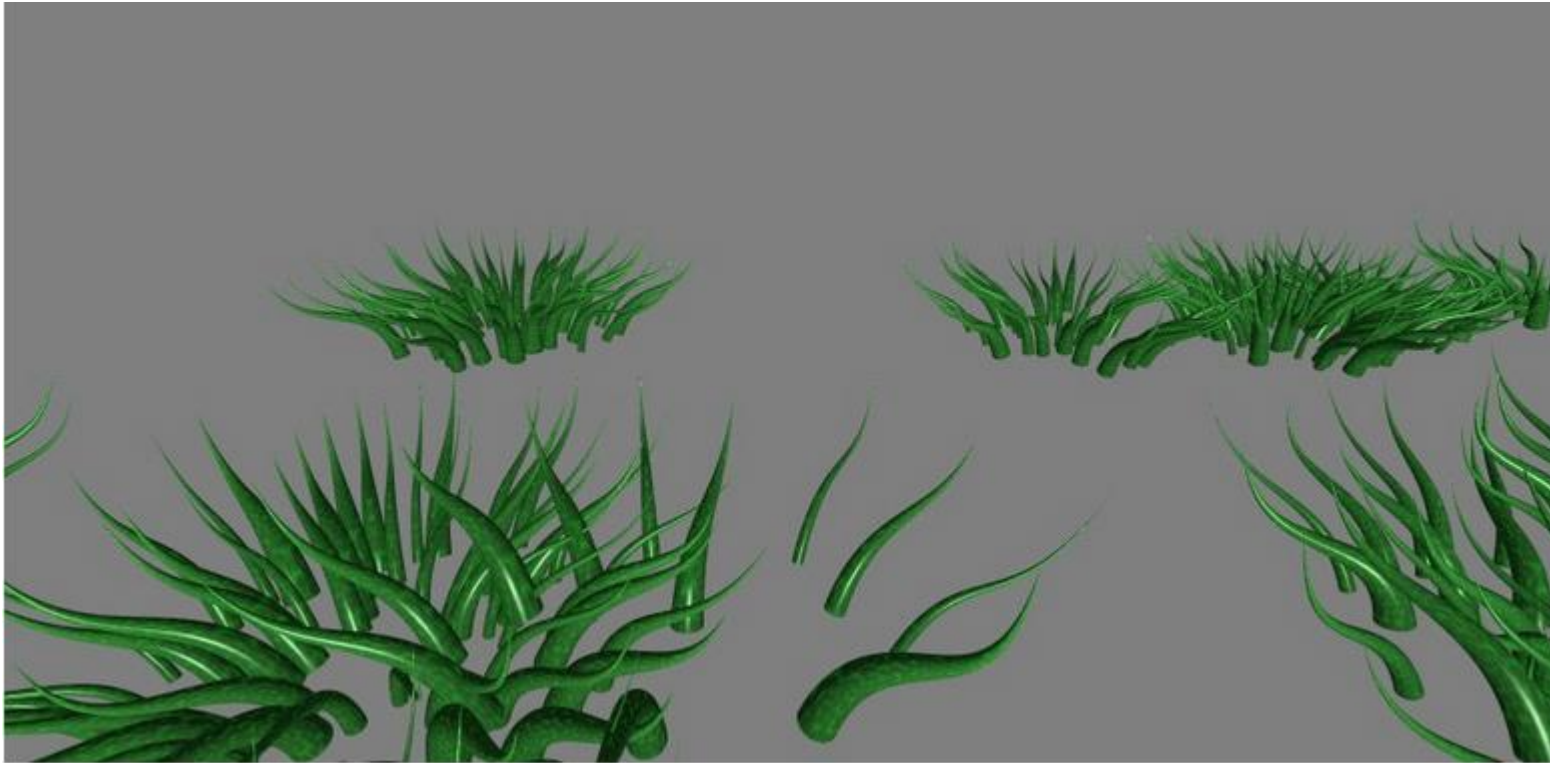
Применение тесселяции к грубой модели (слева) позволяет создавать более гладкую модель (посередине). Использование карт смещения (справа) обеспечивает персонажам реалистичность кинематографического уровня.

© Kenneth Scott, id Software 2008

Геометрические шейдеры

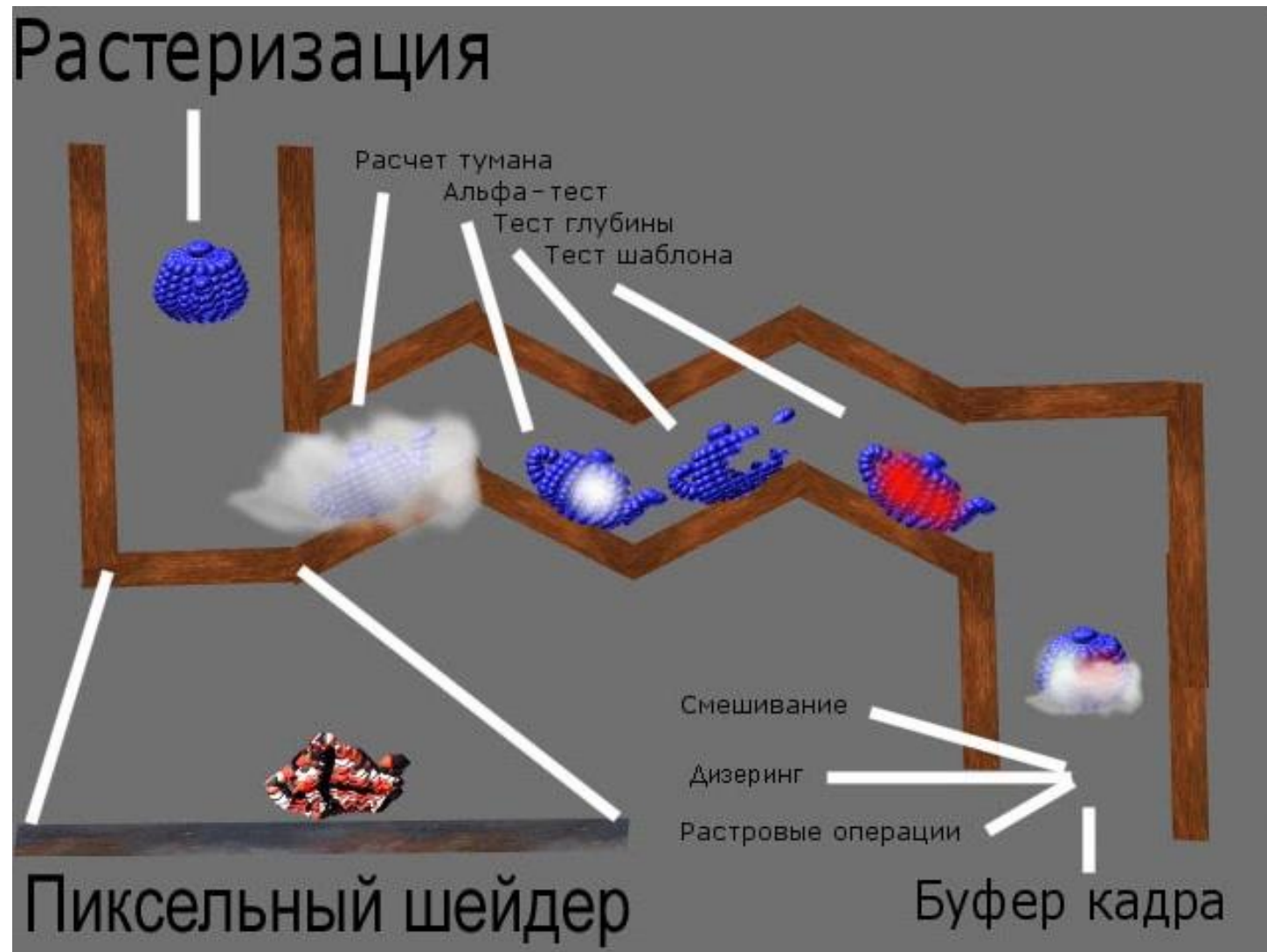
- На вход целый примитив. Это может быть отрезок (две вершины) и треугольник (три вершины), а при наличии информации о смежных вершинах (adjacency) может быть обработано до шести вершин для треугольного примитива.
- Кроме того, геометрический шейдер способен генерировать примитивы «на лету», не задействуя при этом центральный процессор
- Впервые начал использоваться на видеокартах Nvidia серии 8

Шейдеры тесселяции и геометрический

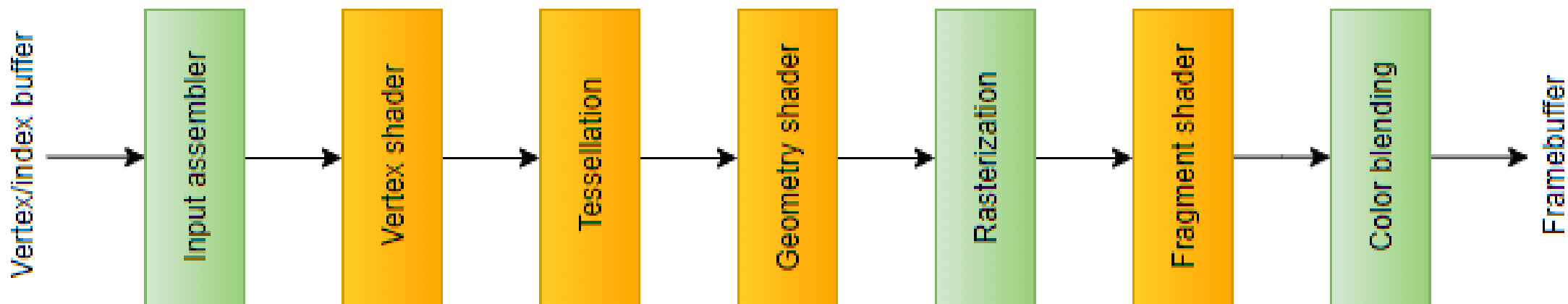
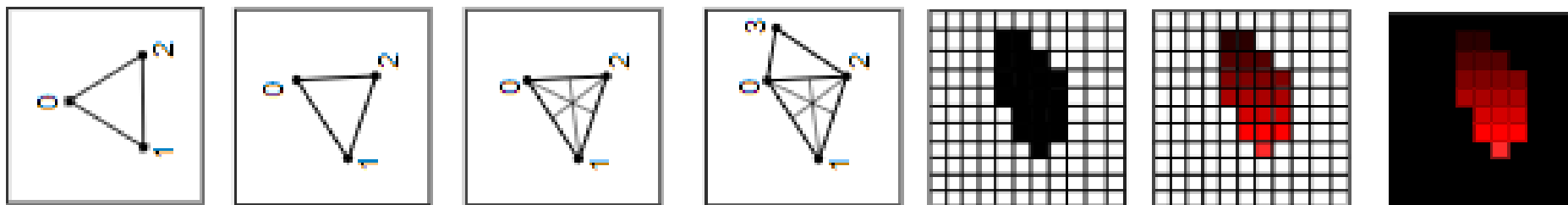


- В шейдере тесселяции генерируется скелет куста со всеми деформациями, вносимыми шевелением и ветром.
- В геометрическом шейдере на этот скелет натягивается полигональная «плоть», толщина которой зависит от высоты кости на скелете.

Функции фрагментного шейдера



Еще раз Конвейер шейдеров



Применение вершинных шейдеров

Скининг (skinning) — скриншот из Call of Duty 2

Matrix pallette skinning для скелетной анимации персонажей с большим количеством «костей».

Над вершинами каждого из персонажей поработал алгоритм скининга.

Причём, с шейдерами версии 3.0 сделать скининг стало заметно проще, для шейдеров версии 1.1 нужно было писать несколько шейдеров для каждого вида скининга (с определенным количеством «костей»).



Деформация объектов + Displacement Mapping



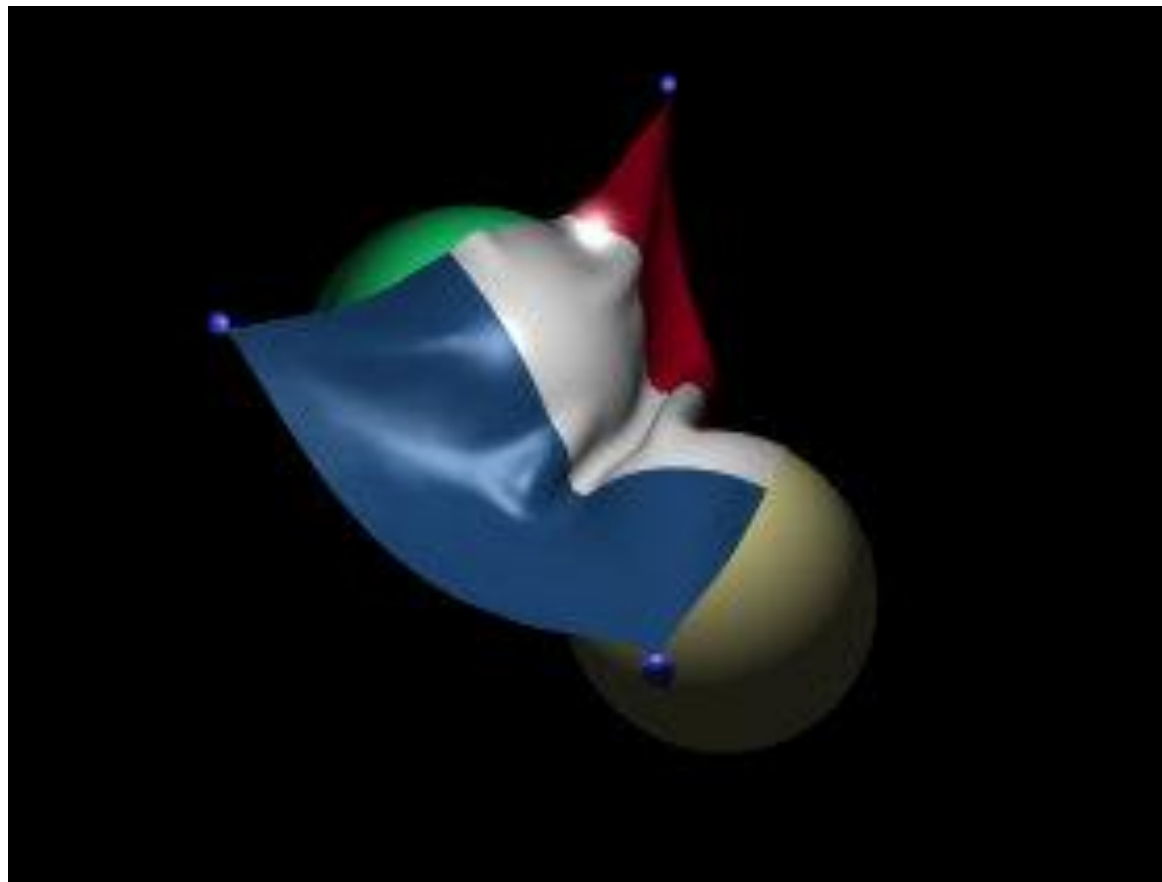
Как самый явный и эффектный пример — создание реалистичных волн в динамике. Примеры подобных решений наблюдаются в играх F.E.A.R. и Pacific Fighters. Применяются вершинные шейдеры 3.0 и доступ к текстурам из них, настоящий Displacement Mapping в дополнение к Bump Mapping. Конечно, похожий эффект волн в динамике, как в F.E.A.R., может быть запрограммирован и на пиксельном уровне (Morrowind), но в данном случае речь об изменении реальной геометрии, что всегда реалистичнее выглядит.

Анимация объектов



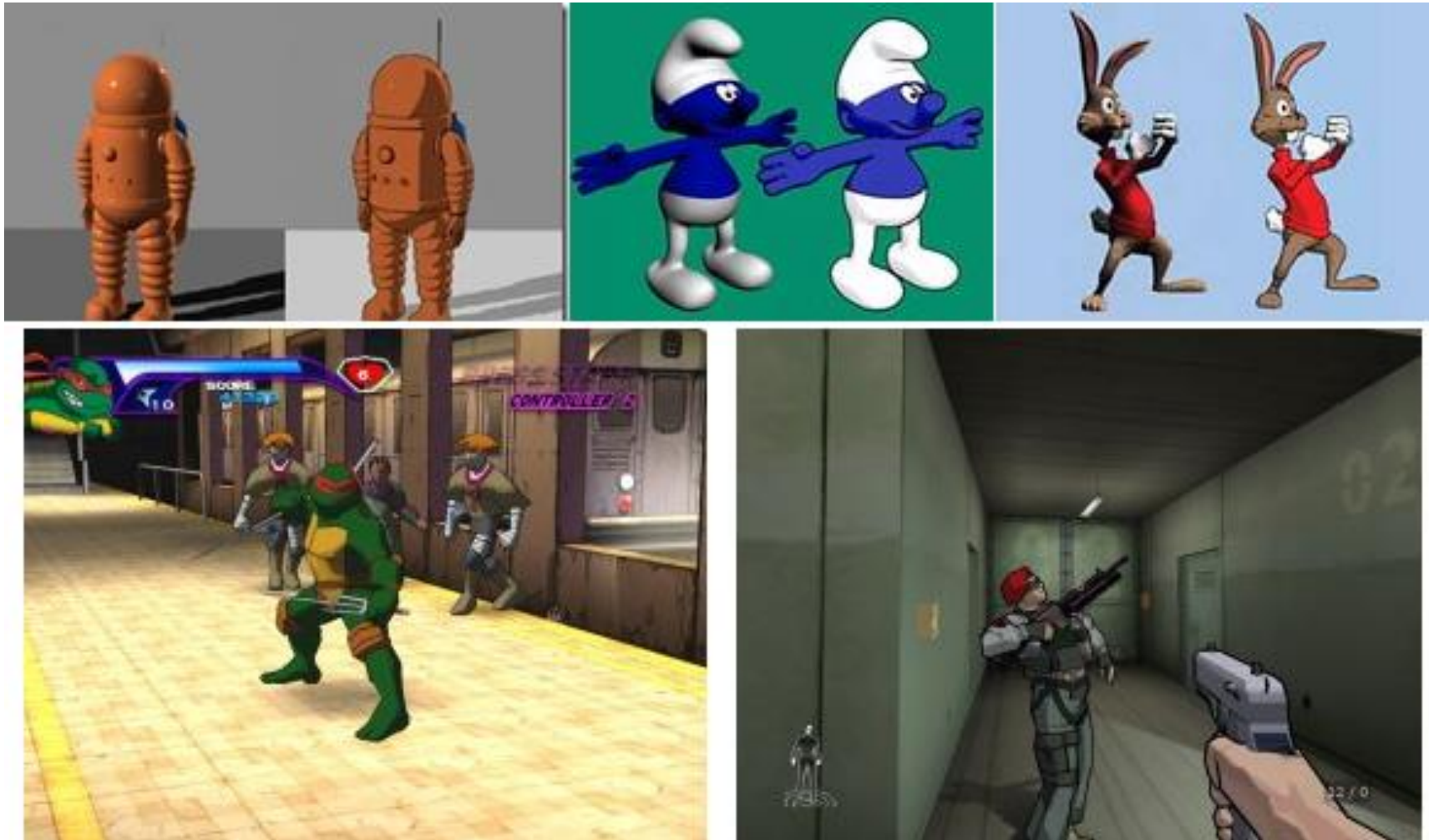
Анимация травы и деревьев в одном из первых применений - 3DMark 2001 SE, алгоритм анимации был значительно улучшен в следующем 3DMark 03

Имитация ткани (Cloth Simulation)



Для имитации поведения материалов, подобных ткани

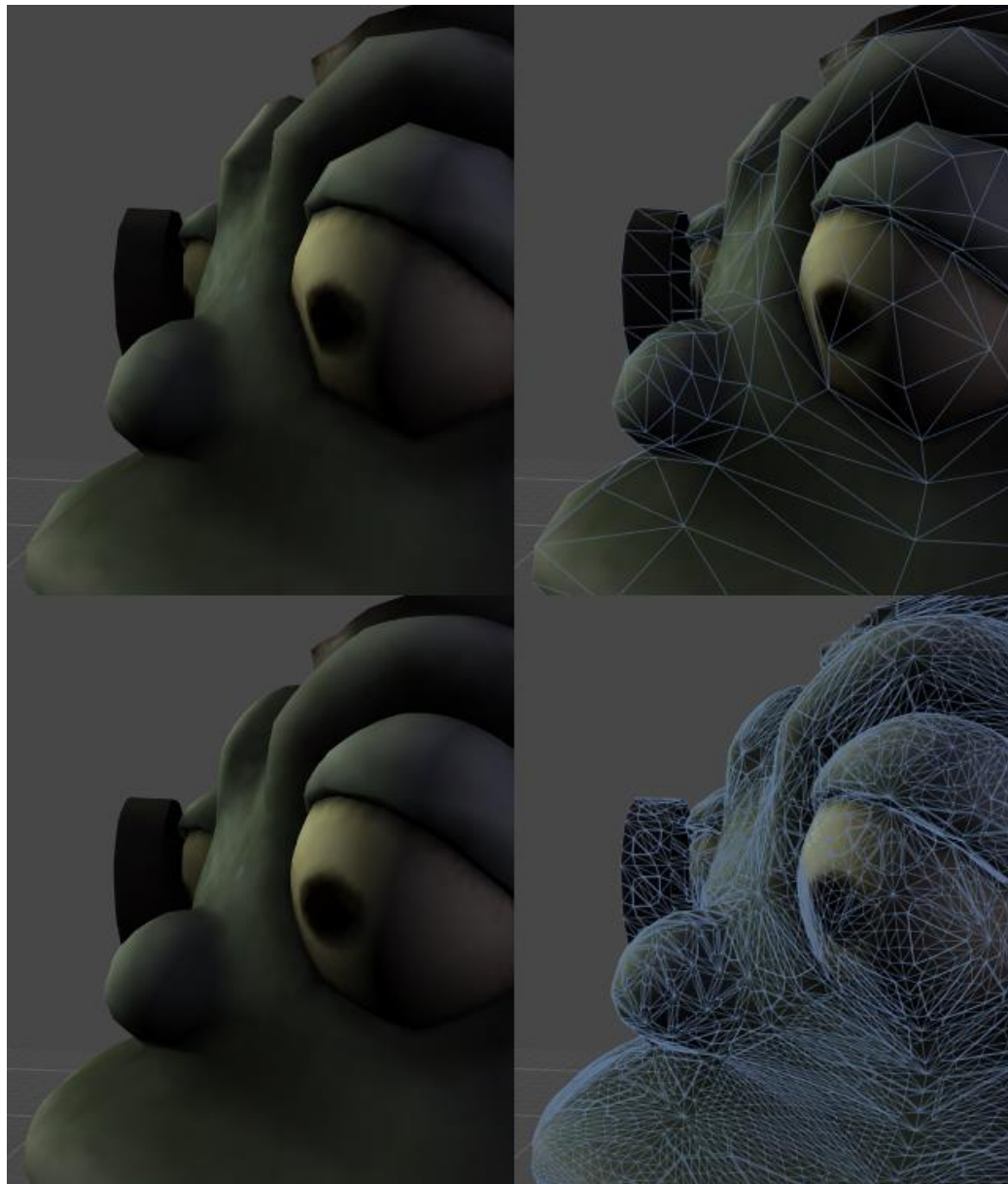
Toon shading/Cel shading



Применение Toon shading — Мультфильмы и мультсериалы

- Человек-паук — новые серии
- Футурама — на сел-шейдерах сделан корабль, а также трёхмерные сцены с подвижной камерой
- АКВ0048 — сел-шейдинг используется в танцевальных сценах
- Appleseed — манга, аниме
- Freedom — аниме
- Симпсоны — 19 сезон (не все серии), 20 и 21 (все серии)

Применение тесселяционных шейдеров



Применение фрагментных шейдеров

Мультитекстурирование



Несколько слоев текстур (colormap, detailmap, lightmap и т.д.).
Используется вообще во всех играх.

Попиксельное освещение. Bump mapping. Normal mapping.



С некоторых пор применяется практически везде

Постобработка кадра: Bloom

Эффект используется разработчиками игр:

- для создания эффекта размытости света на ярких гранях сцены,
- передержки камерой при съёмке,
- а также для добавления большей кинематографичности изображению.



Постобработка кадра: Depth of Field



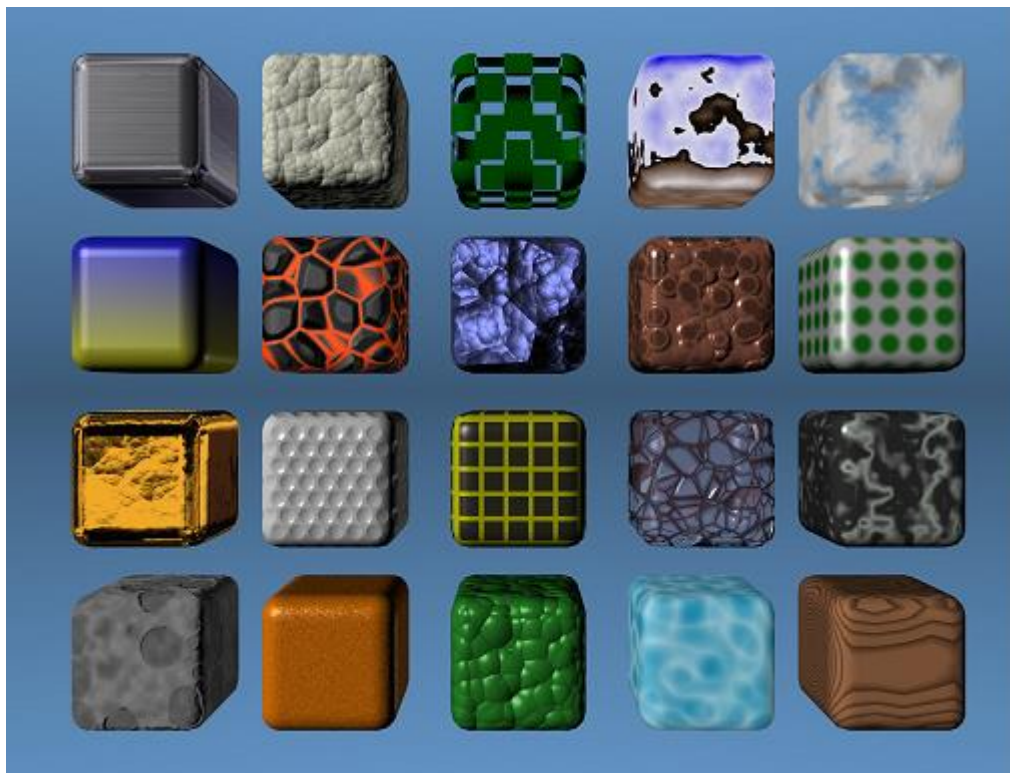
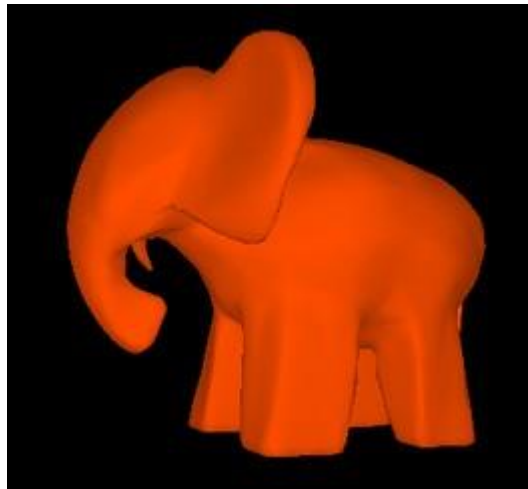
Постобработка кадра: Motion Blur



Процедурные текстуры



Процедурные текстуры



Классы шейдерных языков

- Для профессионального рендеринга
- Для рендеринга в реальном времени

Профессиональный рендеринг

Максимальное качество визуализации

Используется для создания фотореалистичных изображений

Особые навыки программирования не требуются

Обработка таких шейдеров — ресурсоёмкая задача

Большие компьютерные кластеры или блэйд-системы

Языки для профессионального рендеринга

- Шейдерный язык RenderMan
- Open Shading Language

Шейдерный язык RenderMan

- первый из реализованных шейдерных языков
- является фактическим стандартом для профессионального рендеринга
- API RenderMan разработан Робом Куком
- используется во всех работах студии Pixar

Open Shading Language (OSL)

- небольшой, но богатый язык для программирования шейдеров в развитых рендерах и других программных средствах
- разработан Sony Pictures Imageworks для использования в своём внутреннем рендере
- также используется в пакете для создания трёхмерной компьютерной графики Blender

Языки для рендеринга в реальном времени

- GLSL — шейдерный язык OpenGL и Vulkan
- Шейдерный язык Cg (C for Graphics)
- HLSL(High Level Shader Language) — высокоуровневый шейдерный язык DirectX
- Низкоуровневый шейдерный язык DirectX (DirectX ASM). По синтаксису схож с языком ассемблера для x86
- SPIR-V (Standard Portable Intermediate Representation). Двоичный формат байт-кода, который обеспечивает лучшую производительность и кроссплатформенную совместимость. Предназначен для использования как с Vulkan, так и с OpenCL.

GLSL

- GLSL — шейдерный язык OpenGL и Vulkan
- Основное преимущество — переносимость кода между платформами и ОС

Шейдерный язык Cg

Разработан nVidia совместно с Microsoft

Без проблем работает и с видеокартами ATI

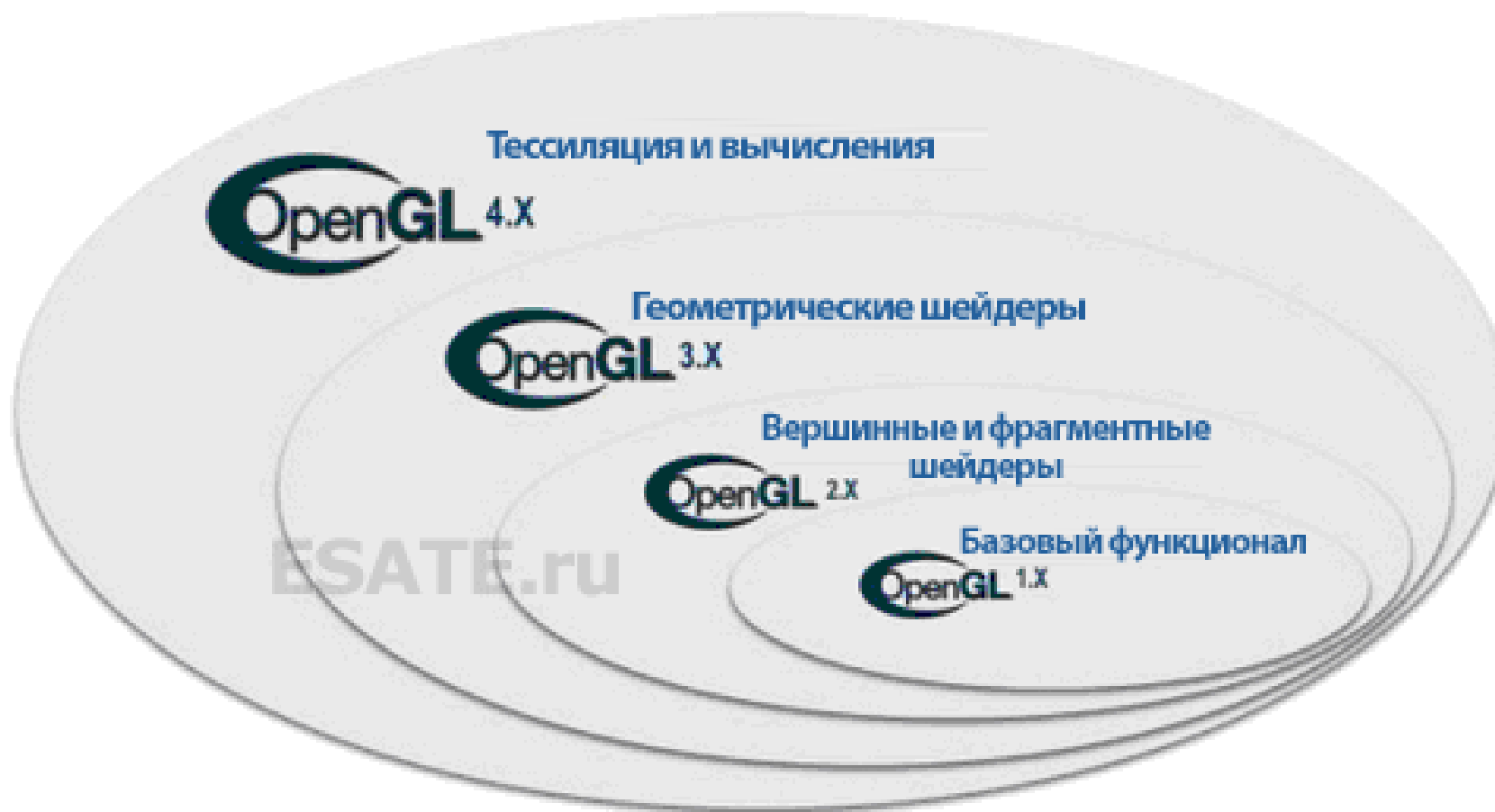
HLSL

Был создан Microsoft и включён в пакет DirectX 9.0

Является надстройкой над DirectX ASM

По синтаксису сходен с C

Эволюция OpenGL 1 - 4



Основные вехи

GLSL 1.10 — доступен в виде набора расширений:

GL_ARB_shading_language_100,
GL_ARB_shader_objects,
GL_ARB_vertex_shader ,
GL_ARB_fragment_shader

GLSL 2.10 — Начиная с OpenGL 2.0, GLSL включен в ядро

GLSL 3.3 — Начиная с релиза OpenGL 3.3, номер версии GLSL соответствует версии OpenGL

GLSL 4.0 — Финальный вариант спецификации OpenGL 4.0 и языка шейдеров GLSL 4.0
Две новые ступени обработки шейдеров, что позволяет перенести обработку тесселяции с центрального процессора на GPU