

# Введение в компьютерную графику

Быковских Дмитрий Александрович

02.09.2023

- Общая информация о компьютерной графике
- Некоторые факты из истории компьютерной графики
- Аппаратные средства, связанные с выводом изображения
- Библиотеки визуализации

2023-09-02

## └ Содержание

# Содержание

- Общая информация о компьютерной графике
- Некоторые факты из истории компьютерной графики
- Аппаратные средства, связанные с выводом изображения
- Библиотеки визуализации

Компьютерная графика — одно из направлений информационных технологий, которое занимается созданием, редактированием и визуализацией графических изображений.

Спектр применений:

- Разработка игр (виртуальный мир, персонажи, эффекты)
- Анимация (фильмы, видеоролики, реклама)
- Визуализация данных (диаграммы, графики)
- Дизайн (логотипы, баннеры, упаковки, интерфейсы)
- Медицинская визуализация (модели органов, тканей и других частей тела, )
- Архитектурное проектирование (модели жилых районов, зданий, интерьеров)
- Симуляция и моделирование (создание виртуальных сред для тестирования и исследования различных сценариев)
- Анимация (фильмы, видеоролики, реклама)
- Медицинская визуализация (модели органов, тканей и других частей тела, )
- Архитектурное проектирование (модели жилых районов, зданий, интерьеров)
- Редактирование фотографий и видеороликов (улучшение качества изображений)

2023-09-02

## Что такое компьютерная графика?

# Что такое компьютерная графика?

Компьютерная графика — одно из направлений информационных технологий, которое занимается созданием, редактированием и визуализацией графических изображений.

Спектр применений:

- Разработка игр (виртуальный мир, персонажи, эффекты)
- Визуализация данных (диаграммы, графики)
- Дизайн (логотипы, баннеры, упаковки, интерфейсы)
- Симуляция и моделирование (создание виртуальных сред для тестирования и исследования различных сценариев)
- Анимация (фильмы, видеоролики, реклама)
- Медицинская визуализация (модели органов, тканей и других частей тела, )
- Архитектурное проектирование (модели жилых районов, зданий, интерьеров)
- Редактирование фотографий и видеороликов (улучшение качества изображений)

2023-09-02

## Основные направления

Computer Graphics

Computer-Generated Imagery

Realtime Processing

Image Processing

Image Compression

Noise Reduction

Computer Vision  
Machine Learning  
Data Mining

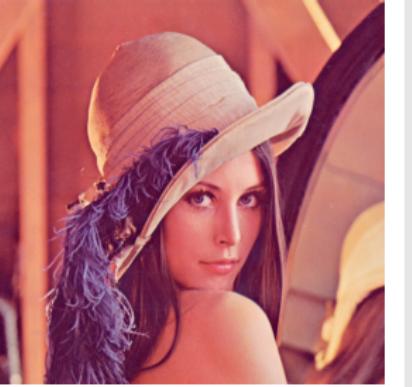


Рис. 1: Семейная пара

Рис. 2: Чайник Юта

Рис. 3: Лена Сёдерберг

Основные направления

Computer Vision	Image Processing
Machine Learning	Computer-Generated Imagery
Data Mining	Realtime Processing
	Noise Reduction

Рис. 1: Семейная пара

Рис. 2: Чайник Юта

Рис. 3: Лена Сёдерберг

# Одна из первых компьютерных игр — Spacewar

1962 г.

Жанр: Shoot'em up, космический симулятор

Авторы: Steve Russell, Martin Graetz, Wayne Wiitanen, Bob Saunders, Steve Piner

Длительность разработки: 200 Чч



Рис. 4: DEC PDP-1 and Spacewar

2023-09-02

Жанр: Shoot'em up, космический симулятор  
Авторы: Steve Russell, Martin Graetz, Wayne Wiitanen, Bob Saunders, Steve Piner  
Длительность разработки: 200 Чч



Рис. 4: DEC PDP-1 and Spacewar

# Одна из первых компьютерных анимаций

1968 г.

Название: Кошечка

Авторы: Н.Н. Константинов, В.

Минахин, В. Понаморенко, А.

Скуридин, В. Журкин

Платформа: БЭСМ-4 и

алфавитно-цифровой принтер

Реализация: движение кошки

описаны дифференциальными  
уравнениями

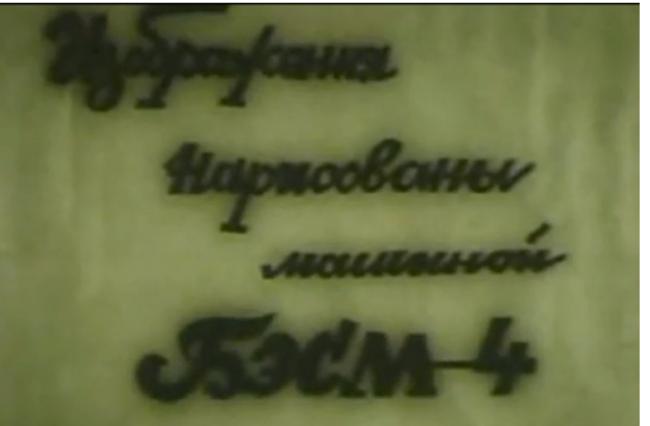


Рис. 5: Кошечка

2023-09-02

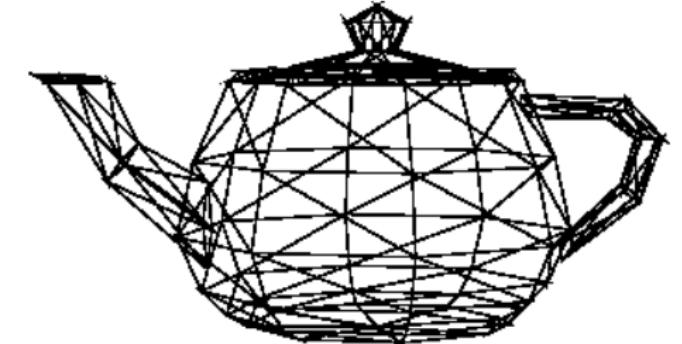
Название: Кошечка  
Авторы: Н.Н. Константинов, В.  
Минахин, В. Понаморенко, А.  
Скуридин, В. Журкин  
Платформа: БЭСМ-4 и  
алфавитно-цифровой принтер  
Реализация: движение кошки  
описаны дифференциальными  
уравнениями



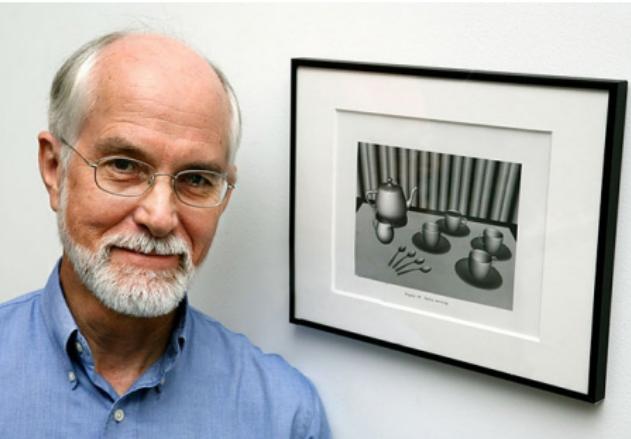
Рис. 5 Кошечка

# Чайник Юта (Newell teapot)

1975 г.



**Рис. 6:** Состоит из 32-хкубических  
поверхностей Безье



**Рис. 7:** Мартин Ньювелл и чайник  
Юта

2023-09-02

Чайник Юта (Newell teapot)  
1975 г.Рис. 6: Состоит из 32-хкубических  
поверхностей БезьеРис. 7: Мартин Ньювелл и чайник  
Юта

<https://www.opengl.org/resources/libraries/glut/spec3/node89.html>  
Скомпилировать программу из CG/Projects/src/utah\_teapot.c

Silicon Graphics Inc. (SGI)

1982 г.

Описание: Разработка графических станций (Indigo, Indy и др.) и ПО (SGI IRIX и др.) для визуализации  
Основатель: Джим Кларк

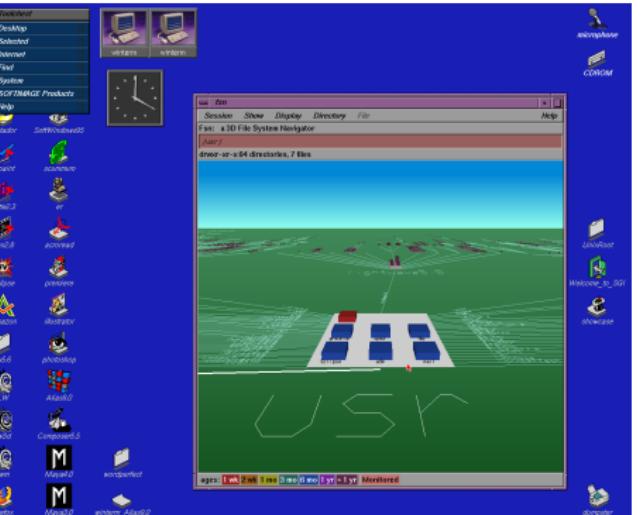


Рис. 8: IRIX OS

## └ История развития. Интересные факты

└ Silicon Graphics Inc. (SGI)

## История компании Silicon Graphics

<https://habr.com/ru/companies/vdsina/articles/562912/>

В 1984 году SGI выпустила системы IRIS первого поколения (модели 1000 и 1200). Вскоре получила статус легенды среди 3D-художников и графических дизайнеров, использовавших уникальную мощь её рабочих станций.

Наследие можно увидеть в Nintendo 64 (вышла в 1996 г.)

Принимала участие в разработке голливудских фильмов, включая Jurassic Park, «Парк юрского периода» (1993 г.), Jumanji, «Джуманджи» (1995 г.), The Matrix, «Матрица» (1999 г.), Star Wars. Episode I, «Звёздные войны. Эпизод I» (1999 г.), Lord of the Rings, «Властелин колец» (2000 г.), и другие.

В 1992 году SGI решили перепроектировать API и начали продавать недорогие лицензии на него своим конкурентам. После SGI организовала OpenGL Architecture Review Board для руководства дальнейшими разработками.

В феврале 1996 года SGI решила войти на рынок суперкомпьютеров, приобретя за 740 миллионов долларов Cray Research.

В 2003 году компания освободила помещения своей штаб-квартиры в Маунти-Вью и сдала здание в аренду Google.

В апреле 2009 года снова SGI подала заявку согласно Главе 11 и была продана Rackable Systems за 25 миллионов.



## Первая 3D видеокарта

1996 г.



Рис. 9: Destruction Derby (1995 г.)



Рис. 10: Diamond Monster 3DFX Voodoo1

2023-09-02



Рис. 9: Destruction Derby (1995 г.)



Рис. 10: Diamond Monster 3DFX Voodoo1

# Характеристики видеокарты 3DFX Voodoo1

1996 г.

Разработчик: Diamond

Шины I/O: PCI/VGA

Память: 4 MB EDO DRAM

Тех процесс: 500 nm

Частота min/max: 45/50 MHz

DirectX: DX5

Цена: 300\$

Эффекты: texture modulation,  
Z-buffering, Bi-linear texture filtering,  
anti-aliasing etc.



Рис. 11: Diamond Monster 3DFX Voodoo1

2023-09-02

Характеристики видеокарты 3DFX Voodoo1  
1996 г.

Разработчик: Diamond  
Шины I/O: PCI/VGA  
Память: 4 MB EDO DRAM  
Тех процесс: 500 nm  
Частота min/max: 45/50 MHz  
DirectX: DX5  
Цена: 300\$  
Эффекты: texture modulation,  
Z-buffering, Bi-linear texture filtering,  
anti-aliasing etc.



Рис. 11: Diamond Monster 3DFX Voodoo1

## 1. Texture Modulation (текстурная модуляция)

- это техника в компьютерной графике, которая позволяет комбинировать две или более текстуры в одной точке на поверхности объекта. Это достигается путем умножения цветов пикселей из различных текстур и последующим объединением результатов. Это может использоваться для создания сложных визуальных эффектов, таких как освещение, тени и детализация.

## 2. Z-buffering (Буфер глубины)

- это метод решения проблемы видимости в трехмерной графике. Он использует буфер глубины (или Z-буфер), который хранит информацию о расстоянии от камеры до каждого пикселя на экране. Во время рендеринга сцены каждый новый пиксель сравнивается с содержимым Z-буфера. Если новый пиксель ближе к камере, его глубина записывается в Z-буфер, и цвет пикселя рендерится на экране. Это обеспечивает правильное наложение объектов в сцене и решает проблему перекрытия.

## 3. Bi-linear Texture Filtering (Билинейная фильтрация текстуры)

- это метод интерполяции цветов пикселей на текстуре для сглаживания артефактов, таких как лестничные эффекты или пиксельные артефакты, которые могут возникнуть при растягивании или сжатии текстур. Для каждого пикселя на экране берутся ближайшие четыре пикселя на текстуре, и их цвета интерполируются на основе расстояния до центра пикселя на экране. Это обеспечивает более плавное и реалистичное отображение текстур на объектах.

## 4. Anti-aliasing (Сглаживание краев)

- это техника, которая используется для смягчения ступенчатых краев (лестничных эффектов) на объектах или линиях в компьютерной графике. Она достигается путем усреднения цветов пикселей, находящихся на границе объекта, с окружающими пикселями. Это создает плавный переход цветов и уменьшает эффект "мерцания" на границах объектов при их движении или вращении.

# Характеристики видеокарты

## Графический процессор (видеочип)

Число транзисторов, трлн.

Техпроцесс, нм

Тактовая частота, ГГц

Количество шейдерных ядер (ALU, Arithmetic Logic Unit)

Тензорные ядра (Tensor Cores)

RT-ядра (Ray-Tracing Cores)

Скорость заполнения (Fill Rate)

- Пиксельная – число блоков растровых операций (Raster Operations Pipeline or Render Output Unit, ROPs)
- Текстурная – количество блоков наложения текстур (Texture Mapping Unit, TMUs)

2023-09-02

Число транзисторов, трлн.  
Техпроцесс, нм  
Тактовая частота, ГГц  
Количество шейдерных ядер (ALU, Arithmetic Logic Unit)  
Тензорные ядра (Tensor Cores)  
RT-ядра (Ray-Tracing Cores)  
Скорость заполнения (Fill Rate)

- Пиксельная – число блоков растровых операций (Raster Operations Pipeline or Render Output Unit, ROPs)
- Текстурная – количество блоков наложения текстур (Texture Mapping Unit, TMUs)

Описание самой мощной игровой видеокарты на 2022 г.

<https://www.techpowerup.com/gpu-specs/geforce-rtx-4090.c3889>

С различными характеристиками можно ознакомиться здесь  
[https://www.thg.ru/graphic/graphic\\_card\\_faq\\_ii/index.html](https://www.thg.ru/graphic/graphic_card_faq_ii/index.html)

### Скорость заполнения (Fill Rate)

С какой скоростью графический процессор может выдавать пиксели (например, triangle fill rate у старых видеокарт). Выделяют два типа скорости заполнения: пиксельную (pixel fill rate,  $PFR = ROP \cdot Hz$ ) и текстурную (texture fill rate).

Текстурную скорость заполнения ATI и nVidia считают по-разному. nVidia считает, что скорость получается умножением числа пиксельных конвейеров на тактовую частоту. А ATI умножает число текстурных блоков на тактовую частоту. В принципе, оба способа корректны, поскольку nVidia использует по одному текстурному блоку на блок пиксельных шейдеров, т.е. по одному на пиксельный конвейер.

### Блоки наложения текстур (Texture Mapping Unit, TMU)

Текстуры следует выбрать и отфильтровать. Эта работа выполняется блоками наложения текстур, которые работают совместно с блоками пиксельных и вершинных шейдеров. Работа TMU заключается в применении текстурных операций над пикселями.

### Блоки растровых операций (Raster Operator Unit, ROP)

Процессоры растровых операций отвечают за запись пиксельных данных в память. Скорость, с которой выполняется эта операция, является скоростью заполнения (fill rate). Производительность (и число) ROP уже редко используется для оценки скорости видеокарты, т.к. перестала быть узким местом.

# Характеристики видеокарты

## Графическая память и прочие атрибуты

### Графическая память

Разрядность шины, бит

Тип микросхем (GDDR5X SDRAM)

Тактовая частота, ГГц

Объем, Тбайт

### Другие атрибуты

Размеры

Тип охлаждения

Шина I/O (PCIe)

Мощность, Вт (Энерговыделение)

Производительность шейдерных

ALU (FP32/FP64/FP16)

- Бенчмарки (benchmark)
- Тесты на играх

2023-09-02

# Характеристики видеокарты

## Floating Point (FP)

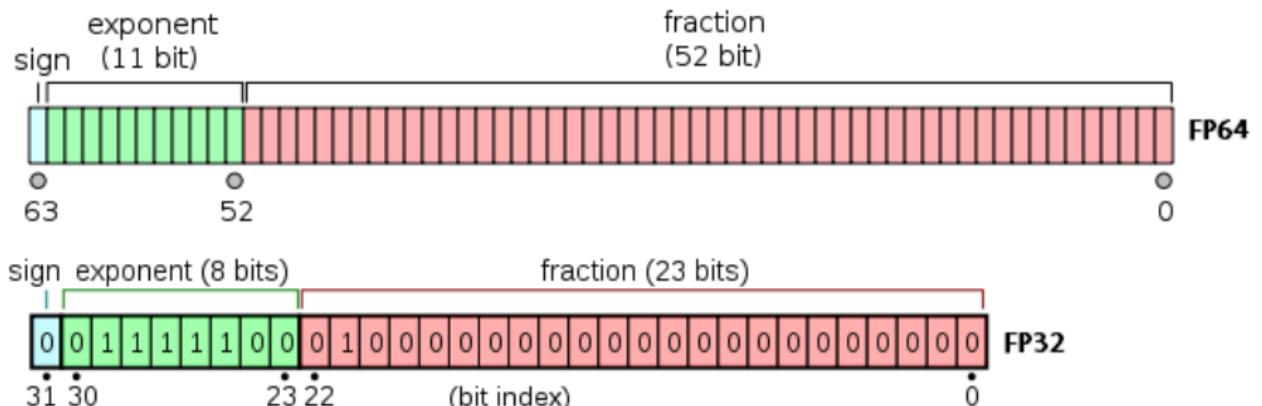


Рис. 12: Структура чисел с плавающей точкой

2023-09-02

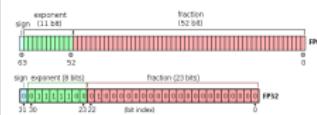


Рис. 12: Структура чисел с плавающей точкой

# Характеристики видеокарты

## Бенчмарки (benchmark)

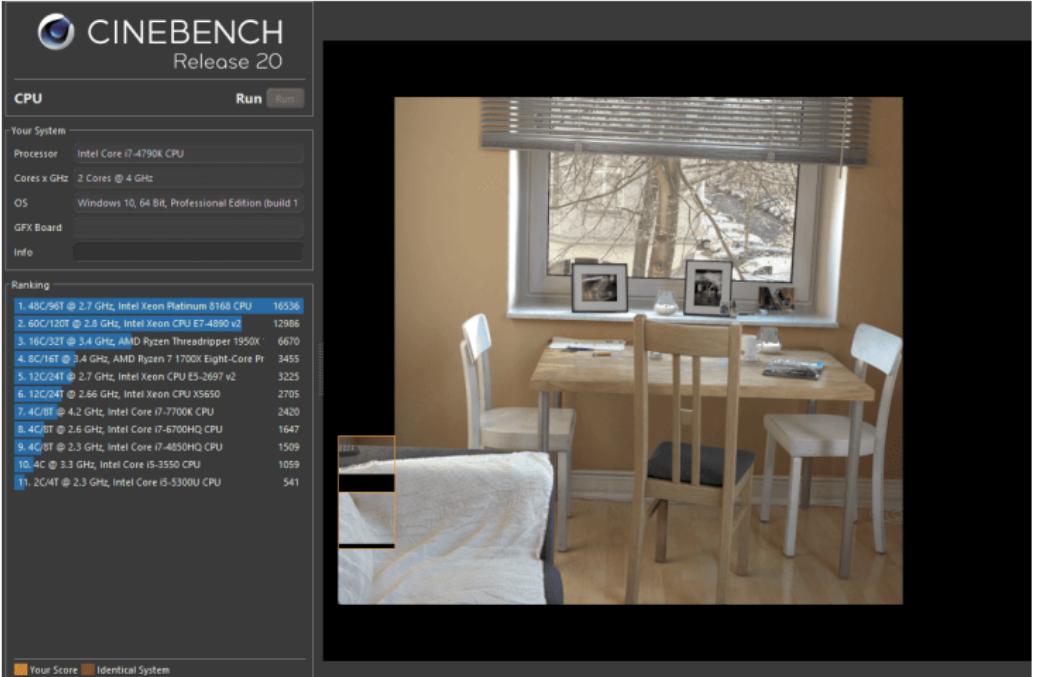


Рис. 13: Cinebench R23

2023-09-02

<https://youtu.be/-bab7HjoZqk?si=HF1GxvNNv3mtCaRG>  
Популярные

- Cinebench R23
- Furmark
- 3DMark
- Heaven

и др.



Рис. 13: Cinebench R23

# Терминология

**Спецификация (стандарт)** — документированные наборы правил, рекомендаций и параметров, определяющие способы взаимодействия, описание, единое понимание и совместимость между аппаратной и программной частями.

**Драйвер (видеодрайвер)** — программный интерфейс между операционной системой и графическим аппаратным обеспечением компьютера или устройства.

**Графическая библиотека** — набор программных инструментов, функций и ресурсов, предназначенных для упрощения создания графических элементов в компьютерных приложениях.

**Графический движок** — программное обеспечение, которое предоставляет инфраструктуру и инструменты для разработки интерактивных графических приложений, игр и визуальных симуляций.

**Графический фреймворк** — комплексная структура, предоставляющая базовую архитектуру и инструменты для разработки графических приложений.

**Графические редакторы** — программное обеспечение, предназначенное для создания, редактирования и манипулирования графическими изображениями, включая различные эффекты, анимацию и многое другое.

**Графический профилировщик** — программное обеспечение, используемое для анализа и оптимизации производительности графических приложений или систем.

**GPU benchmark (бенчмарк графического процессора)** — методика тестирования и оценки производительности графического процессора, которая позволяет измерить его способность обрабатывать графику и выполнение вычислительных задач.

## Программные средства

2023-09-02

### Терминология

**Спецификация (стандарт)** — документированные наборы правил, рекомендаций и параметров, определяющие способы взаимодействия, описание, единое понимание и совместимость между аппаратной и программной частями.

**Драйвер (видеодрайвер)** — программный интерфейс между операционной системой и графическим аппаратным обеспечением компьютера или устройства.

**Графическая библиотека** — набор программных инструментов, функций и ресурсов, предначертанных для упрощения создания графических элементов в компьютерных приложениях.

**Графический движок** — программное обеспечение, которое предоставляет инфраструктуру и инструменты для разработки интерактивных графических приложений, игр и визуальных симуляций.

**Графический фреймворк** — комплексная структура, предоставляющая базовую архитектуру и инструменты для разработки графических приложений.

**Графические редакторы** — программное обеспечение, предназначенное для создания, редактирования и манипулирования графическими изображениями, включая различные эффекты, анимацию и многое другое.

**Графический профилировщик** — программное обеспечение, используемое для анализа и оптимизации производительности графических приложений или систем.

**GPU benchmark (бенчмарк графического процессора)** — методика тестирования и оценки производительности графического процессора, которая позволяет измерить его способность обрабатывать графику и выполнение вычислительных задач.

# Графические библиотеки и спецификации

Программный интерфейс (или API, Application Programming Interface)

## **OpenGL (1992, Silicon Graphics)**

Открытая кросс-платформенная спецификация для работы с 2D и 3D графикой

## **Mesa (1995)**

Свободная реализация графических API OpenGL (позже Vulkan и др.) с открытым исходным кодом

## **DirectX (1995, Microsoft)**

Пакет графических API для работы с играми и мультимедийными приложениями на платформе Windows

## **WebGL (2011, Khronos Group)**

Графический API для веб-браузеров

## **Mantle (2013, AMD)**

Спецификация низкоуровневого API

## **Vulkan (2016, Khronos Group)**

Низкоуровневый высокопроизводительный кроссплатформенный API для работы с 2D и 3D графикой

2023-09-02

# Структура графической библиотеки

## Графический движок (движок рендеринга 2-х или 3-х мерной КГ)

- Должны работать в реальном времени
- Поддержка шейдеров

## Анимация

- Кинематика(компьютерный фильм)

## Физический движок (физика)

- Динамика жидкости, газа, взаимодействия тел и т.д.

## Игровой ИИ (game artificial intelligence)

- Боты (bots), моды (mods) и неигровые персонажи (non-player characters)

## Звук, система скриптов (система I/O), сетевой интерфейс и т.д.

2023-09-02

**Графический движок** (движок рендеринга 2-х или 3-х мерной КГ)

- Должны работать в реальном времени
- Поддержка шейдеров

**Анимация**

- Кинематика(компьютерный фильм)

**Физический движок** (физика)

- Динамика жидкости, газа, взаимодействия тел и т.д.

**Игровой ИИ** (game artificial intelligence)

- Боты (bots), моды (mods) и неигровые персонажи (non-player characters)

Звук, система скриптов (система I/O), сетевой интерфейс и т.д.

# Распределение вычислений между CPU и GPU

Central and Graphical Processor Unit

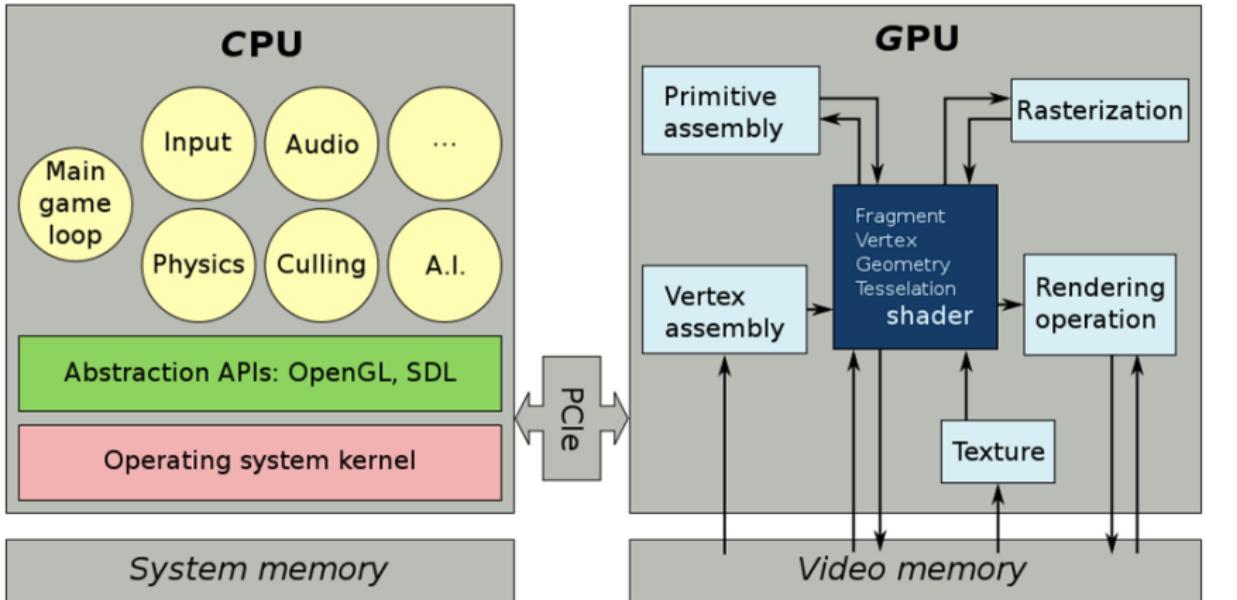
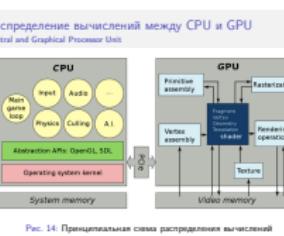


Рис. 14: Принципиальная схема распределения вычислений

## Программные средства

### Распределение вычислений между CPU и GPU

2023-09-02



## Конвейер рисования в OpenGL

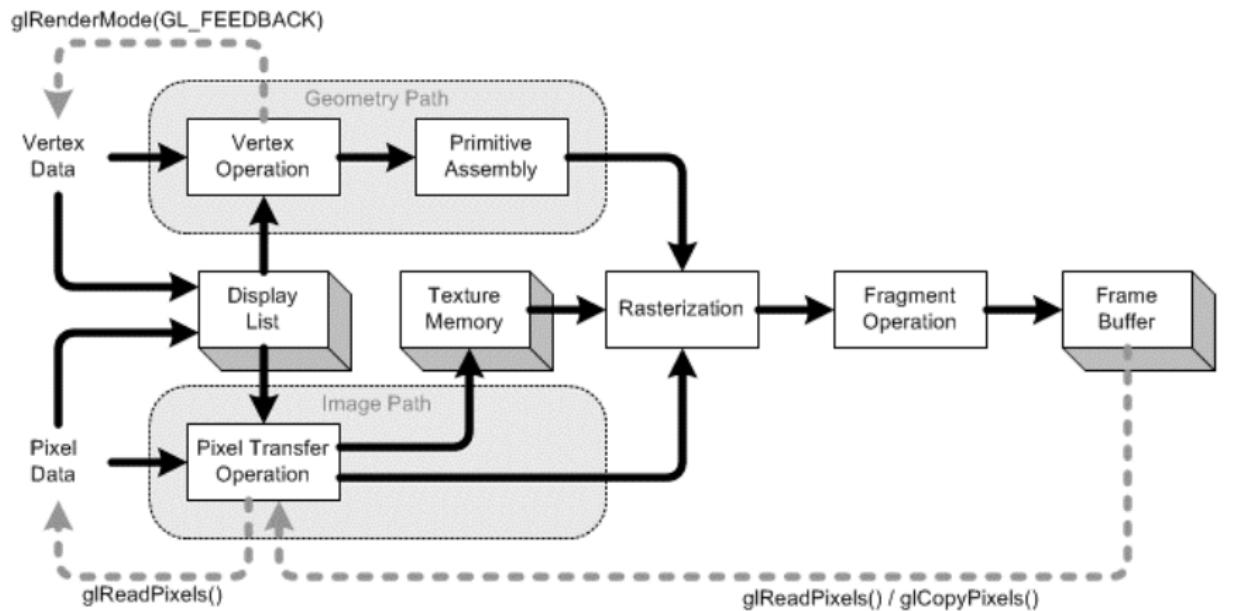


Рис. 15: Принципиальная схема распределения вычислений



Рис. 15: Принципиальная схема распределения вычислений

# Упрощенная модель графического конвейера

## Shaders

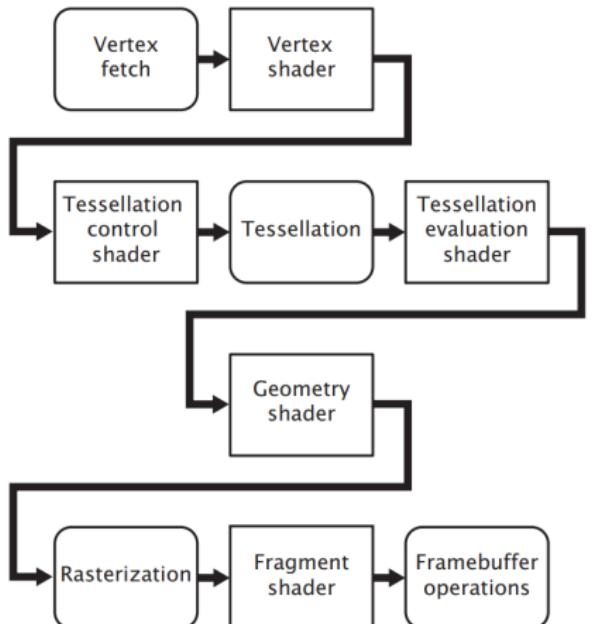


Рис. 16: Порядок вычисления шейдеров

Быковских Д.А.

## Программные средства

### Упрощенная модель графического конвейера

2023-09-02

#### Загрузка данных

Вершина (vertices)

#### Вершинный шейдер

Группа вершин (primitives/patches)

#### Шейдер управление тесселяцией

Тесселяция

#### Шейдер определяющий тесселяции

Примитивы (primitives)

#### Геометрический шейдер

Примитивы (primitives)

#### Растеризация и интерполяция

Пиксели (fragments)

#### Пиксельный (фрагментный) шейдер

Пиксели (fragments)

#### Операции с буферами кадров

Пиксели (Pixels)



Рис. 16: Порядок вычисления шейдеров

Пиксели (Pixels)

# Упрощенная модель графического конвейера

OpenGL specification

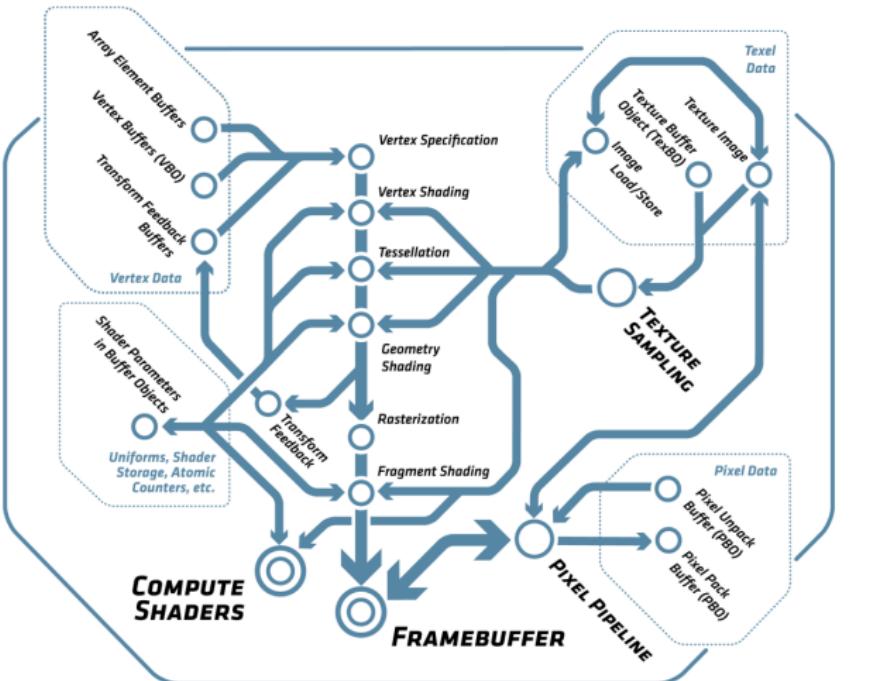


Рис. 17: Принципиальная схема распределения вычислений

2023-09-02



Рис. 17: Принципиальная схема распределения вычислений