

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики**

А.М. Райгородский

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Компьютерная графика
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Компьютерные технологии и вычислительная техника Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр обучения проектированию и разработке игр
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 60 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 105 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: И.В. Сошилов, руководитель проектов

Программа обсуждена на заседании центра обучения проектированию и разработке игр 14.04.2023

Аннотация

В курсе рассматриваются современные методы компьютерной графики в приложениях реального времени. Проводится обзор архитектуры графических процессоров нескольких последних поколений с пояснением о влиянии изменений в архитектуре на подходы использования данного аппаратного обеспечения. Рассматриваются различные графические API и их связь с развитием графических процессоров. Дается обзор инструментов, используемых при разработке графических приложений и алгоритмов. Отдельная часть курса посвящена детальному разбору современных методов решения специфичных задач реалистичной компьютерной графики реального времени, таких как рисование теней, глобальное освещение, алгоритмы антиалиасинга, рисование эффектов.

В ходе курса предлагается реализовать ряд алгоритмов, которые используют различные возможности современных графических API. В ходе выполнения практических заданий будут показаны методы отладки и оптимизации алгоритмов компьютерной графики. Для успешного освоения программы курса слушателю будет полезно знать основы линейной алгебры и иметь навыки разработки приложений на языке C++.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Формирование базовых знаний и навыков для работы с алгоритмами компьютерной графики.

Задачи дисциплины

Овладение навыками разработки, отладки и оптимизации алгоритмов компьютерной графики.

Обзор низкоуровневых основ работы с графическими процессорами и графическими API.

Освоение некоторых современных методов компьютерной графики реального времени на практике.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- Основы принципов работы графических процессоров.
- Абстракции, используемые при разработке алгоритмов компьютерной графики.
- Современные подходы к решению основных задач компьютерной графики.
- Принципы проектирования высокоуровневых графических API.

уметь:

- Создавать и отлаживать алгоритмы компьютерной графики с использованием высокоуровневого API.
- Писать шейдерные программы на одном из шейдерных языков программирования: GLSL, HLSL.

владеть:

- Методами разработки графических приложений.
- Навыками оптимизации и отладки программ для графических процессоров.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение в GPU	2	4		5
2	Текстурирование и отладка	2	4		5
3	Графические API	2	4		5
4	Компьютер шейдеры	2	5		10
5	Рендер	2	4		5
6	GPU	2	5		5
7	Трассировка и шейдеры	3	4		10
8	Свет и тени	3	5		10
9	Окружающее пространство	3	5		10
10	Алиасинг	3	5		10
11	Эффекты	2	5		10
12	Алгоритмы	2	5		10
13	Материалы и эффекты	2	5		10
Итого часов		30	60		105
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Введение в GPU

Обзор работы GPU. Отличия GPU и CPU. SIMD и SIMT. Пиксельный шейдер. Отличия языков для шейдеров от C++. SDF. Модель Фонга. Точечные источники света.

2. Текстурирование и отладка

Модель Блинн-Фонг. PBR, параметры материалов. Текстурирование моделей. Типы текстур. Семплы. Фильтрация. Mip-уровни текстур. Инструменты для отладки графических приложений. RenderDoc, Nsight, PIX. Сравнение инструментов, демонстрация использования.

3. Графические API

Обзор графических API. Объяснение, как начать работать с одним из них на примере Dx12/Vulkan/etc. Компьютер шейдеры. Буферы. GPGPU. Обзор классического графического конвейера (2 типа шейдеров). Вершинный шейдер. Загрузка моделей. Создание буферов (Vertex Buffer, Index Buffer). Преобразования координат. Матрицы преобразований.

4. Компьютер шейдеры

Текстуры. Компьютер шейдеры для image processing. Фильтры для изображений, удаление шума, свертки. Разница между компьютер шейдерами и пиксельными. Инстансинг моделей. Скиннинг моделей. Деформации в вершинном шейдере. Лодирование. Indirect draw. Геометрический шейдер. Тесселяционный шейдер. Обзор расширенного конвейера. Transform feedback. Displacement map.

5. Рендер

Настройки для различных этапов конвейера. z-test, stencil-test. Форматы глубины. Forward/deferred шейдинг, форвард +. Gbuffer. Depth prepass.

6. GPU

Архитектура GPU. Работа с памятью. Обработка циклов и условных операторов. Типичные “узкие места” в графических приложениях. Методы профилирования GPU. Типичные подходы к оптимизации.

7. Трассировка и шейдеры

Трассировка лучей. TLAS/BLAS. Типы шейдеров для трассировки лучей. Ускоряющие структуры. Создание фотореалистичных изображений. Monte-Carlo integration. Offline rendering.

Семестр: 8 (Весенний)

8. Свет и тени

Источники света. IES текстуры. Виды источников света. Tiled/clustered lights. Карты теней. Трассировка для получения тени. Мягкие тени. Каскадные карты теней. PCF, VSM, ESM. Атласы карт теней.

9. Окружающее пространство

Рисование ландшафтов. Карты высот. Виртуальные текстуры. Биомы. Деформация ландшафта. Рисование растительности. Проблемы с производительностью. Импостеры. Реакция растений на ветер. Рисование травы. Транслюцентные материалы. Рисование тумана и облаков. Ray-marching. 3D-текстуры.

10. Алиасинг

Проблема алиасинга. Типы алиасинга. SSAA, MSAA, FXAA, TAA. Задача увеличения разрешения. TAAU. DLSS. Checkerboard upscale. VRS.

11. Эффекты

Экранные эффекты. SSAO. GTAO. SSR. Постэффекты. Тонмаппинг. HDR. Depth of field.

12. Алгоритмы

Обзор алгоритмов Global illumination. RSM, Light propagation volumes, Voxel cone tracing, Irradiance cache, Radiosity, light probes. Основные алгоритмы на компьютер шейдерах: scan, компрессия, построение гистограммы, bitonic sort, radix sort. Warp.

13. Материалы и эффекты

Subsurface scattering. Рисование кожи, волос, глаз. Анизотропные материалы. Реализация системы частиц. Рисование билбордов. Реализация поведения частиц.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащённая медиапроектором и экраном. Персональные компьютеры с подключением к сети «Интернет».

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. В. Боресков [и др.] ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— М. : Изд-во Моск. ун-та, 2012 .— 336 с.
2. Основы работы с технологией CUDA [Текст]/А. В. Боресков, А. А. Харламов, -М., ДМК Пресс, 2010

Дополнительная литература

1. On numbers and games/J. H. Conway, Princeton University, -New York, CRC Press, 2001

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Тематический портал компьютерной графики реального времени
<http://www.realtimerendering.com/portal.html>

Портал для разработчиков nVidia <https://developer.nvidia.com/>

Портал для разработчиков AMD <https://developer.amd.com/>

Сайт А.В.Борескова, сборник статей по компьютерной графике <http://steps3d.narod.ru/articles.html>

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

В процессе самостоятельной работы обучающихся предполагается использование таких программных средств, как nVidia Nsight, PIX, RenderDoc и другие.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В процессе изучения материала студентам необходимо выполнять практические задания. Все необходимые для освоения дисциплины материалы будут высылаются на электронные почты обучающихся.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Компьютерные технологии и вычислительная техника Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр обучения проектированию и разработке игр
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Разработчик: И.В. Сошилов, руководитель проектов

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Компьютерная графика» обучающийся должен:

знать:

- Основы принципов работы графических процессоров.
- Абстракции, используемые при разработке алгоритмов компьютерной графики.
- Современные подходы к решению основных задач компьютерной графики.
- Принципы проектирования высокоуровневых графических API.

уметь:

- Создавать и отлаживать алгоритмы компьютерной графики с использованием высокоуровневого API.
- Писать шейдерные программы на одном из шейдерных языков программирования: GLSL, HLSL.

владеть:

- Методами разработки графических приложений.
- Навыками оптимизации и отладки программ для графических процессоров.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Перечень типовых вопросов для текущего контроля:

7 семестр:

1. Точечные источники света.
2. Текстурирование
3. Отладка.
4. Инструменты для отладки графических приложений.
5. Графические API.
6. Фильтры для изображений.
7. Удаление шума.

8. Свертки.
9. Разница между компьютер шейдерами и пиксельными.
10. Форматы глубины.

8 семестр:

1. Обработка циклов.
2. Обработка условных операторов.
3. Создание фотореалистичных изображений.
4. Транслюцентные материалы.
5. Рисование тумана и облаков.
6. Ray-marching.
7. 3D-текстуры.
8. Задача увеличения разрешения.
9. TAAU. DLSS. Checkerboard upscale. VRS.
10. Основные алгоритмы на компьютер шейдерах.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень вопросов к дифференцированному зачету:

1. Написание пиксельного шейдера с SDF и освещением по Фонгу.
2. Добавить текстуры в написанный ранее шейдер. Одна из текстур должна быть процедурно сгенерированной и меняться со временем. Реализация PBR.
3. Захват кадра из игры.
4. Создание приложения с использованием графического API. Нужно написать простой компьютер шейдер, например, сложение двух векторов.
5. Добавить поддержку текстур и реализовать фильтр для изображения.
6. Добавление графической очереди в разработанное ранее приложение. Загрузка модели. Вывод модели на экран.
7. Сгенерировать множество инстансов для модели в компьютер шейдере и выполнить кулинг в нём же. Полученные инстансы отрисовать с использованием indirect draw.
8. Добавление карты displacement'a в существующее приложение.
9. Реализация одного из видов рендерера.
10. Интеграция профайлера в разработанное ранее приложение.

Перечень вопросов к экзамену:

1. Трассировка лучей в пиксельном шейдере на простой сцене с зеркальными материалами.
2. Добавление поддержки spot lights.
3. Добавление карты теней.
4. Добавление ландшафта с картой высот.
5. Добавление травы, реагирующей на ветер.
6. Добавление тумана в приложение.
7. Реализация FXAA или TAA.
8. Реализация АО.
9. Реализация тонмаппинга и поддержка HDR.
10. Реализация RSM.
11. Поддержка анизотропных и транслюцентных материалов в приложении.
12. Добавление эффектов в приложение.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет №1:

1. Расскажите об трассировки лучей в пиксельном шейдере на простой сцене с зеркальными материалами.
2. Реализация FXAA или TAA.

Билет №2:

1. Опишите добавление ландшафта с картой высот.
2. Реализация RSM.

Критерии оценивания

- оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;
- оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;
- оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений;
- оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
- оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
- оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач;
- оценка «неудовлетворительно (1)» выставляется студенту, который не знает формулировок основных понятий дисциплины.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Контроль знания материала осуществляется при помощи выполнения заданий и контрольной работы. При подготовке к ответу разрешается пользоваться любыми материалами.