

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Современная компьютерная графика

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

01.04.02 - Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы

Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.03.03 Современная компьютерная графика относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-11: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых задач производственно-технологической деятельности	<p>ПК-11.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p> <p>ПК-11.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач.</p> <p>ПК-11.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых производственно-технологических задач</p>	<p>ПК-11.1: ЗНАТЬ – Математические методы, системное и прикладное программное обеспечение СКГ для решения задач производственно-технологической деятельности. – Методику разработки программных комплексов и интерфейсов компьютерной графики для современных вычислительных систем.</p> <p>ПК-11.2: УМЕТЬ Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы СКГ для решения задач производственно-технологической деятельности.</p> <p>ПК-11.3: ВЛАДЕТЬ Навыками программирования задач СКГ на GPU и CPU для решения задач производственно-технологической деятельности.</p>	Практическое задание Тест	Зачёт: Контрольные вопросы

ПК-4: Способен разрабатывать и анализировать концептуальные и теоретические модели решаемых научных проблем и задач	<p>ПК-4.1: Знает методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.2: Умеет применять методы разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p> <p>ПК-4.3: Имеет навыки применения методов разработки и анализа концептуальных и теоретических моделей решаемых научных проблем и задач</p>	<p>ПК-4.1: ЗНАТЬ</p> <p>– Математические методы, системное и прикладное программное обеспечение СКГ для решения задач научной деятельности.</p> <p>– Методику разработки программных комплексов и интерфейсов компьютерной графики для современных вычислительных систем.</p> <p>ПК-4.2: УМЕТЬ</p> <p>Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы СКГ для решения задач научной деятельности.</p> <p>ПК-4.3: ВЛАДЕТЬ</p> <p>Навыками программирования задач СКГ на GPU и CPU для решения задач научной деятельности.</p>	Практическое задание Тест	Зачёт: Контрольные вопросы
---	---	--	------------------------------	-------------------------------

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0
	Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф	Ф Ф Ф
Введение. Компьютерная графика в системе современной науки и технологий. Современные открытые библиотеки и системы.	4	1	1	2	2
Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации (VR)	14	2	2	4	10
Алгоритмы стерео-визуализации	10	1	1	2	8
Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.	12	2	2	4	8
Сегментация 3D данных. Реконструкция поверхностей. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел	14	3	3	6	8
Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.	20	3	3	6	14
Трассировка лучей в реальном времени. Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен	14	2	2	4	10
Методы анимации сцен и персонажей	12	1	1	2	10
Современные стандарты обмена данными. COLLADA	7	1	1	2	5
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Компьютерная графика в системе современной науки и технологий. Современные открытые библиотеки и системы.
2. Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации (VR).
3. Алгоритмы стерео-визуализации
4. Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.
5. Сегментация 3D данных. Реконструкция поверхностей. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел.
6. Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.
7. Трассировка лучей в реальном времени. Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен.
8. Методы анимации сцен и персонажей.
9. Современные стандарты обмена данными. COLLADA

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "Турлапов В.Е. «Компьютерная графика ДО»"

(<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=804>).

Иные учебно-методические материалы: Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется открытый электронный онлайн-курс (Инженерная и компьютерная графика, <https://online.edu.ru/public/course?faces-redirect=true&cid=3803>), созданный в системе открытых онлайн-курсов российских вузов <https://online.edu.ru/>.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1) «Оптимизация вычислений глобального освещения 3D сцен»: Реализация метода равномерных сеток (kd-деревьев, SAH), для оптимизации вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен.

- a. История развития методов глобального освещения.
- b. Ускоряющие структуры. Kd-деревья.
- c. Ускоряющие структуры. BVH-деревья.

2) «Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения»: Трассировка лучей/путей на CPU или GPU.

- a. Генерация случайного направления на сфере.
- b. Энергетический подход. Основы фотометрии.
- c. Взаимодействие света с поверхностью. BRDF (ДФОС) и ее свойства.
- d. Уравнение визуализации. Площадная и полусферическая форма.
- e. Стохастическая трассировка пути. Прямое и вторичное освещение.
- f. Метод фотонных карт.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1.«Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений»: Программирование вычислений общего назначения на GPU средствами GLSL или CUDA на примере трассировки лучей.

- a. Алгоритм пересечения луча с треугольником. Формула Уиттеда. Различия между трассировкой лучей и путей. История развития методов глобального освещения.
- b. Ускоряющие структуры. Kd-деревья.
- c. Ускоряющие структуры. BVH-деревья.

2.«Научная визуализация. Алгоритмы научной визуализации»: Реализация объемной визуализации на CPU и в реальном времени на GPU.

- a. Математическая модель трассировки луча: интеграл объемного рендеринга и процедура численного интегрирования вдоль луча в модели с постклассификацией.
- b. Случайный сдвиг (jittering) стартовых позиций луча и метод количественной оценки качества визуализации. Рекомендованные частоты выборки.
- c. Оптимизационные стратегии.
- d. Способы накопления цвета вдоль луча.

1. Тип – одиночный выбор.

- l. Что означает термин Visual Computing?
- m. вычисления, обеспечивающие зрение роботов
- n. высокопроизводительные вычисления в области компьютерной графики в широком смысле
- o. высокопроизводительная обработка видеосъемки
- p. синтез изображений виртуальной реальности
- q. вычисления, связанные с человеко-машинным интерфейсом

2. Тип – одиночный выбор.

Какая группа методов современной компьютерной графики обеспечивает наибольшую реалистичность визуализации

- l. Методы растеризации
- m. Методы трассировки лучей
- n. Методы излучательности (Radiosity)
- o. Методы глобального освещения

3. Тип – одиночный выбор.

Медицинская 3D визуализация это:

- l. 3D визуализация трехмерных скалярных полей
- m. 3D визуализация полей высот

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Работа выполнена в полном объеме и в срок, результаты работы алгоритма корректные на тестовых примерах, результаты работы представлены преподавателю.
не зачтено	Работа не выполнена или выполнена не в полном объеме (программа работает некорректно на тестовых примерах, результаты работы не представлены преподавателю).

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-11:

1. Для количественной оценки фотометрических величин во всем оптическом диапазоне служит ... система единиц.

- 1) волновая 2) световая 3) спектральная 4) энергетическая

2. Функция относительной спектральной чувствительности максимальна в ... области спектра.

- 1) красной 2) зелёной 3) фиолетовой 4) ультрафиолетовой

5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Тип – одиночный выбор.

- a. Что означает термин Visual Computing?
- b. вычисления, обеспечивающие зрение роботов
- c. высокопроизводительные вычисления в области компьютерной графики в широком смысле
- d. высокопроизводительная обработка видеосъемки
- e. синтез изображений виртуальной реальности
- f. вычисления, связанные с человеко-машинным интерфейсом

2. Тип – одиночный выбор.

Какая группа методов современной компьютерной графики обеспечивает наибольшую реалистичность визуализации

- a. Методы растеризации
- b. Методы трассировки лучей
- c. Методы излучательности (Radiosity)
- d. Методы глобального освещения

3. Тип – одиночный выбор.

Медицинская 3D визуализация это:

- a. 3D визуализация трехмерных скалярных полей
- b. 3D визуализация полей высот

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Как минимум 80% правильных ответов в тесте
не зачтено	менее 80% правильных ответов в тесте

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
Знания	Отсутствие	Уровень	Минимальн	Уровень	Уровень	Уровень	Уровень

	знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	о допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»

не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-11

- 1.Сеточные методы моделирования поверхностей и тел.
 - Сплаины и методы подразбиения кривых и поверхностей.
- 2.Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.
 - Энергетический подход. Основы фотометрии.
 - Взаимодействие света с поверхностью. BRDF (ДФОС) и ее свойства.
 - Геометрия моделей затенения.
- 3.Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.
 - Уравнение визуализации. Площадная и полусферическая форма.
 - Стохастическая трассировка пути. Прямое и вторичное освещение.
- 4.Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.
 - Метод фотонных карт.
 - Генерация случайного направления на сфере.
- 5.Трассировка лучей в реальном времени Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен.
 - Трассировка лучей как основа расчета глобального освещения. Алгоритм пересечения луча с треугольником. Различия между трассировкой лучей и путей. История развития методов глобального освещения.
- 6.Трассировка лучей в реальном времени Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен.
 - Ускоряющие структуры. Kd-деревья.
 - Ускоряющие структуры. BVH-деревья.
- 7.Методы анимации сцен и персонажей.
 - Основные принципы и методы анимации сцен и персонажей.
 - Скелетная анимация.
- 8.Современные стандарты обмена данными. COLLADA.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

- 1.Компьютерная графика в системе современной науки и технологий.
 - Компьютерная графика в информационных системах.Классификация разделов компьютерной графики в широком смысле.

- Соотношение курсов Компьютерная графика и Современная компьютерная графика.
- Современные открытые библиотеки и системы: VTK, ITK, ParaView, CGAL, Open CASCADE, SALOME.

2. Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации.

- Метод Raycasting и прямая визуализация объема (Direct Volume Rendering). Достоинства лучевых методов. Процедура интерполяции и классификации при выборке из экспериментальных 3D данных, содержание и проблемы. Transfer Function.
- Математическая модель трассировки луча: интеграл объемного рендеринга и процедура численного интегрирования вдоль луча в модели с постклассификацией.
- Случайный сдвиг (jittering) стартовых позиций луча и метод количественной оценки качества визуализации. Рекомендованные частоты выборки.

3. Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации.

- Предынтегрированная визуализация и виртуальные выборки.
- Оптимизационные стратегии.
- Способы накопления цвета вдоль луча.

4. Алгоритмы стерео-визуализации.

- Содержание и математические модели создания стерео-изображений.
- Технологии разделения изображений между правым и левым глазом.
- Реализации цветового анаглифа.

5. Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.

- Базовые архитектуры вершинного и фрагментного шейдеров.
- Сравнительная характеристика архитектуры G80 и современных графических процессоров Fermi и Kepler.

6. Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.

- Соотношение версий OpenGL, MS DirectX и поколений графических процессоров.
- Сравнительная характеристика графических конвейеров от DirectX9 до DirectX11: от вершинного и фрагментного шейдеров к геометрическому и Hull Shader, Tesselator и Domain Shader.

7. Сегментация 3D данных.

- Методы сегментации 2D и 3D данных: кластеризация однородных областей; разрастания регионов; K-средних; Слияние/разделение областей (region merging/splitting); метод Canny.

8. Реконструкция поверхностей.

- Метод Marching Cubes. Структуризация и параметризация его результата.

9. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел.

Edge Based и Face Based структуры хранения сеточных данных. Упрощение сеток

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами.

Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Алгоритмические основы современной компьютерной графики / Куликов А.И., Овчинникова Т.Э. - Москва : ИНТУИТ, 2016., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=662740&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Малявко А. А. Параллельное программирование на основе технологий openmp, cuda, opencl, mpi : учебное пособие / А. А. Малявко. - 3-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2023. - 135 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-534-14116-0. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=847643&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Интернет-ресурсы:

- 1) Турлапов В.Е. «Компьютерная графика ДО» <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=804>
- 2) Боголепов Д., Турлапов В. Компьютерная графика в инженерном анализе и научной визуализации. – ИНТУИТ (<http://www.intuit.ru/studies/courses/587/443/info>)
- 3) Ресурсы конференции SIGGRAPH (www.siggraph.org)
- 4) Библиотека OpenTK <https://github.com/opentk/opentk>
- 5) Спецификации OpenGL и GLSL <https://www.opengl.org/>
- 6) Krivanec Jaroslav papers: <http://cgg.mff.cuni.cz/~jaroslav/papers/>

Программное обеспечение:

- 1) MS Windows 8/10, установленная на персональном компьютере обучающегося
- 2) MS Visual Studio Express 2015 или MS Visual Studio Express 2015 для Web (<https://www.microsoft.com/ru-ru/SoftMicrosoft/vs2015Web.aspx>) – бесплатная версия (на персональном компьютере обучающегося).
- 3) OpenGL (www.opengl.org), лицензия BSD
- 4) NVIDIA CUDA, актуальной версии (лицензия BSD)
- 5) NVIDIA OptiX, актуальной версии (лицензия BSD)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 01.04.02 - Прикладная математика и информатика.

Автор(ы): Турлапов Вадим Евгеньевич, доктор технических наук, доцент.

Рецензент(ы): д.т.н., профессор кафедры ИАНИ Старостин Н.В.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.