

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 Ученого совета ННГУ
от 30.11.2022 г. протокол № 13

Рабочая программа дисциплины
Современная компьютерная графика

Уровень высшего образования
магистратура

Направление подготовки
010402 Прикладная математика и информатика

Направленность образовательной программы
Вычислительные методы и суперкомпьютерные технологии

Форма обучения
очная

Нижний Новгород
2022

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

Место дисциплины в структуре ООП

Данная дисциплина (Б1.В.ДВ.03.03) читается во втором семестре магистратуры, относится к части, формируемой участниками образовательных отношений. Студенты к моменту освоения дисциплины «Современная компьютерная графика» (СКГ) должны быть ознакомлены с основными теоретическими понятиями и прикладными знаниями, полученными в рамках изучения дисциплины «Компьютерная графика» бакалавриата; желательно владение интегрированием методом Монте-Карло и технологией NVIDIA CUDA.

Цель освоения дисциплины

Целями данной дисциплины являются:

- Овладение методами и технологиями современной компьютерной графики в объеме, соответствующем Advanced уровню (CS355. Advanced Computer Graphics; CS356. Computer Animation; CS357. Visualization; CS358. Virtual Reality) Международных рекомендаций Computing Curricula.
- Освоение современных методов и ускоряющих структур оптимизации вычислений в компьютерной графике
- Освоение использования современных графических процессоров (GPU) для визуализации и для вычислений.

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	
<i>ПК-5 Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач научной деятельности</i>	<i>ПК-5.1. Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</i>	<i>ЗНАТЬ – Математические методы, системное и прикладное программное обеспечение СКГ для решения задач научной деятельности. – Методику разработки программных комплексов и интерфейсов компьютерной графики для современных вычислительных систем.</i>	Тест (текущий контроль) Собеседование (зачет)

	<i>ПК-5.2. Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</i>	УМЕТЬ <i>Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы СКГ для решения задач научной деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
	<i>ПК-5.3 Имеет навыки разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения задач научной деятельности</i>	ВЛАДЕТЬ <i>Навыками программирования задач СКГ на GPU и CPU для решения задач научной деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
<i>ПК-12 Способен разрабатывать и применять математические методы, системное и прикладное программное обеспечение для решения задач производственно-технологической деятельности</i>	<i>ПК-12.1. Знает типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения производственно-технологических задач</i>	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.	Тест (текущий контроль) Собеседование (зачет)
	<i>ПК-12.2. Умеет применять типовые математические методы и методологии разработки системного и прикладного программного обеспечения для решения производственно-технологических задач</i>	УМЕТЬ <i>Применять на практике технологии, открытые программные среды, библиотеки и теоретические основы СКГ для решения задач производственно-технологической деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)

	<i>ПК-12.3. Имеет навыки разработки системного программного обеспечения для решения задач производственно-технологической деятельности</i>	<i>ВЛАДЕТЬ Навыками программирования задач СКГ на GPU и CPU для решения задач производственно-технологической деятельности.</i>	Лабораторная работа (текущий контроль)
--	--	---	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	Очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	33
– занятия лекционного типа	16
– занятия семинарского типа	0
– занятия лабораторного типа	16
– текущий контроль (КСР)	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация: зачет	0

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего контактных часов	
Введение. Компьютерная графика в системе современной науки и технологий. Современные открытые библиотеки и системы.		1	1		2	2
Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации (VR).		2	2		4	10
Алгоритмы стерео-визуализации.		1	1		2	8
Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.		2	2		4	8
Сегментация 3D данных. Реконструкция поверхностей. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел.		3	3		6	8
Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.		3	3		6	14
Трассировка лучей в реальном времени. Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен.		2	2		4	10

Методы анимации сцен и персонажей.		1	1		2	10
Современные стандарты обмена данными. COLLADA		1	1		2	5
Текущий контроль (КСР)	1				1	
Промежуточная аттестация – зачет	0					
Итого	108	16		16	33	75

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Текущий контроль успеваемости реализуется в форме проверки работ на занятиях лабораторного типа.

Промежуточная аттестация проходит в форме зачета.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Для выполнения программы самостоятельной работы достаточно: (а) самостоятельно проработать лекционный и дополнительный материал (21 час) и (б) выполнить по согласованию с преподавателем 3 (3*18час) домашние лабораторные работы на темы, представленные в пп. 5.2.2, 5.2.3.

Задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможно оценить полноту знаний вследствие отказа обучающего	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

	ся от ответа						
<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 отдельными 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 владения материалом. Невозможно 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 оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

Критерий оценивания лабораторной работы

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

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

Вопрос	Код компетенции
1) Компьютерная графика в системе современной науки и технологий. а) Компьютерная графика в информационных системах. Классификация разделов компьютерной графики в широком смысле. б) Соотношение курсов Компьютерная графика и Современная компьютерная графика. в) Современные открытые библиотеки и системы: VTK, ITK, ParaView, CGAL, Open CASCADE, SALOME.	ПК-5
2) Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной	ПК-5

<p>визуализации.</p> <p>a) 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.</p> <p>b) Математическая модель трассировки луча: интеграл объемного рендеринга и процедура численного интегрирования вдоль луча в модели с постклассификацией.</p> <p>c) Случайный сдвиг (jittering) стартовых позиций луча и метод количественной оценки качества визуализации. Рекомендованные частоты выборки.</p>	
<p>3) Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации.</p> <p>a) Предынтегрированная визуализация и виртуальные выборки.</p> <p>b) Оптимизационные стратегии.</p> <p>c) Способы накопления цвета вдоль луча.</p>	ПК-5
<p>4) Алгоритмы стерео-визуализации.</p> <p>a) Содержание и математические модели создания стерео-изображений.</p> <p>b) Технологии разделения изображений между правым и левым глазом.</p> <p>c) Реализации цветового анаглифа.</p>	ПК-5
<p>5) Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.</p> <p>a) Базовые архитектуры вершинного и фрагментного шейдеров.</p> <p>b) Сравнительная характеристика архитектуры G80 и современных графических процессоров Fermi и Kepler.</p>	ПК-5
<p>6) Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.</p> <p>a) Соотношение версий OpenGL, MS DirectX и поколений графических процессоров.</p> <p>b) Сравнительная характеристика графических конвейеров от DirectX9 до DirectX11: от вершинного и фрагментного шейдеров к геометрическому и Hull Shader, Tessellator и Domain Shader.</p>	ПК-5
<p>7) Сегментация 3D данных.</p> <p>a) Методы сегментации 2D и 3D данных: кластеризация однородных областей; разрастания регионов; K-средних; Слияние/разделение областей (region merging/splitting); метод Canny.</p>	ПК-5
<p>8) Реконструкция поверхностей.</p> <p>a) Метод Marching Cubes. Структуризация и параметризация его результата.</p>	ПК-5
<p>9) Сеточные методы моделирования поверхностей и тел.</p> <p>a) Edge Based и Face Based структуры хранения сеточных данных. Упрощение сеток.</p>	ПК-5
<p>10) Сеточные методы моделирования поверхностей и тел.</p> <p>a) Сплайны и методы подразбиения кривых и поверхностей.</p>	ПК-12
<p>11) Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.</p> <p>a) Энергетический подход. Основы фотометрии.</p> <p>b) Взаимодействие света с поверхностью. BRDF (ДФОС) и ее свойства.</p> <p>c) Геометрия моделей затенения.</p>	ПК-12
<p>12) Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.</p> <p>a) Уравнение визуализации. Площадная и полусферическая форма.</p> <p>b) Стохастическая трассировка пути. Прямое и вторичное освещение.</p>	ПК-12

13) Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения. а) Метод фотонных карт. б) Генерация случайного направления на сфере.	ПК-12
14) Трассировка лучей в реальном времени Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен. а) Трассировка лучей как основа расчета глобального освещения. Алгоритм пересечения луча с треугольником. Различия между трассировкой лучей и путей. История развития методов глобального освещения.	ПК-12
15) Трассировка лучей в реальном времени Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен. а) Ускоряющие структуры. Kd-деревья. б) Ускоряющие структуры. BVH-деревья.	ПК-12
16) Методы анимации сцен и персонажей. а) Основные принципы и методы анимации сцен и персонажей. б) Скелетная анимация.	ПК-12
17) Современные стандарты обмена данными. COLLADA.	ПК-12

5.2.2. Типовые темы лабораторных работ для оценки сформированности компетенции ПК-5

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

а. Алгоритм пересечения луча с треугольником. Формула Уиттеда. Различия между трассировкой лучей и путей. История развития методов глобального освещения.

б. Ускоряющие структуры. Kd-деревья.

с. Ускоряющие структуры. BVH-деревья.

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

а. Математическая модель трассировки луча: интеграл объемного рендеринга и процедура численного интегрирования вдоль луча в модели с постклассификацией.

б. Случайный сдвиг (jittering) стартовых позиций луча и метод количественной оценки качества визуализации. Рекомендованные частоты выборки.

с. Оптимизационные стратегии.

д. Способы накопления цвета вдоль луча.

5.2.3. Типовые темы лабораторных работ для оценки сформированности компетенции ПК-12

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

а. 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.

5.2.4. Типовые тестовые вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-5

1. Что означает термин Visual Computing?

- вычисления, обеспечивающие зрение роботов
- высокопроизводительные вычисления в области компьютерной графики в широком смысле (+)
- высокопроизводительная обработка видеосъемки
- синтез изображений виртуальной реальности
- вычисления, связанные с человеко-машинным интерфейсом

2. Какая группа методов современной компьютерной графики обеспечивает наибольшую реалистичность визуализации?

- методы растеризации
- методы трассировки лучей
- методы излучательности (radiosity)
- методы глобального освещения (+)

5.2.5. Типовые тестовые вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-

12

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

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- Александр Куликов, Тамара Овчинникова. Алгоритмические основы современной компьютерной графики: – <http://www.intuit.ru/studies/courses/70/70/info>.

- Курс: Турлапов В.Е. "Компьютерная графика ДО" – <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=804>.
- Курс: Денис Боголепов, Вадим Турлапов. Компьютерная графика в инженерном анализе и научной визуализации, ИНТУИТ – <http://www.intuit.ru/studies/courses/587/443/info>.

б) дополнительная литература:

- Wald I. Realtime Ray Tracing and Interactive Global Illumination. PhD thesis, Saarland University, 2004. 311 p. – www.sci.utah.edu/~wald/PhD/wald_phd.pdf.
- Möller T. Visualization. Direct Volume Rendering, 2011. 106 p. – http://vda.univie.ac.at/Teaching/Vis/14s/LectureNotes/11_direct_volume_rendering.pdf.
- T. Ritschel, C. Dachsbacher, T. Grosch, J. Kautz / The State of the Art in Interactive Global Illumination, 2011. 26 p. – https://www.in.tu-clausthal.de/fileadmin/homes/CG/data_pub/paper/GISTAR.pdf.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- Ресурсы конференции SIGGRAPH – www.siggraph.org.
- Библиотека OpenTK – <https://github.com/opentk/opentk>.
- Спецификации OpenGL и GLSL – <https://www.opengl.org>.
- Krivanec Jaroslav papers – <http://cgg.mff.cuni.cz/~jaroslav/papers>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой (лекционного и лабораторного типа), оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения.

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 01.04.02 Прикладная математика и информатика.

Автор: В.Е. Турлапов

Заведующий кафедрой Р.Г. Стронгин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.