

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**  
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от  
« 30 » \_ноября\_\_ 2022 г. № \_13\_

**Рабочая программа дисциплины**

**Современная компьютерная графика**  
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**магистратура**  
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**020402 Фундаментальная информатика и информационные технологии**  
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Вероятностное моделирование и анализ данных**  
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

**очная**  
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород  
2023

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.07 «Современная компьютерная графика» относится к обязательной части Блока 1 «Дисциплины (модули)» направления подготовки 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» профиля подготовки «Вероятностное моделирование и анализ данных». Дисциплина преподается в 2 семестре. Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 час., зачет.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина Б1.О.07, «Современная компьютерная графика» относится к обязательной части ООП направления подготовки 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

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**	
ОПК-2. Способен применять компьютерные/суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-2.1: Знает компьютерные/суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной деятельности	<b>Знает</b> 1. Теоретические основы, алгоритмы и постановки задач современной компьютерной графики (СКГ). Образовательные ресурсы, открытые библиотеки и системы СКГ.	<i>собеседование</i>
	ОПК-2.2: Умеет применять компьютерные / суперкомпьютерные методы, современное программное обеспечение (в том числе отечественного производства) для решения задач профессиональной	<b>Умеет</b> применять базовые алгоритмы научной и стерео визуализации, глобального освещения.  <b>Владеет</b> навыками программирования задач СКГ на центральном и графическом процессоре для применения в	<i>собеседование, проект</i>

	деятельности.	разработке информационных систем.	
--	---------------	-----------------------------------	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

<b>Общая трудоемкость</b>	<b>4 ЗЕТ</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>144</b>
<b>в том числе:</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>49</b>
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	16
- занятия лабораторного типа	
- текущий контроль (КСР)	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>95</b>
<b>Промежуточная аттестация - зачет</b>	

#### 3.2 Содержание дисциплины

№	Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	в том числе				Самостоятельная работа студента, часы
			контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
			Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего контактных часов	
1	Введение. Компьютерная графика в системе современной науки и технологий. Современные открытые библиотеки и системы.	18	4	2		6	12
2	Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной визуализации (VR)	18	4	2		6	12
3	Алгоритмы стерео-визуализации	9	2	1		3	6
4	Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.	18	4	2		6	12
5	Сегментация 3D данных. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел.	18	4	2		6	12

<b>6</b>	<b>Реконструкция поверхностей.</b> Метод Marching Cubes. Структуризация и параметризация его результата. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел. Edge Based и Face Based структуры хранения сеточных данных. Сплайны и методы подразбиения кривых и поверхностей	<b>18</b>	4	2		6	12
<b>7</b>	<b>Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.</b>	<b>18</b>	4	2		6	12
<b>8</b>	<b>Трассировка лучей в реальном времени.</b> Ускоряющие структуры	<b>18</b>	4	2		6	12
<b>9</b>	<b>Методы анимации сцен и персонажей</b>	<b>8</b>	2	1		3	5
	<b>Текущий контроль (КСР)</b>	<b>1</b>		1			
	<b>Промежуточная аттестация: зачет</b>						
	<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>32</b>	<b>17</b>		<b>49</b>	<b>95</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (зачет).

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в виде работы с рекомендованной обязательной и дополнительной литературой, подготовки к лекциям, выполнении проектов, подготовки к зачету Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для выполнения проекта необходимо по согласованию с преподавателем выбрать тему проекта на одну из тем, представленных ниже (в зависимости также от того индивидуально или в группе).

##### Примеры тем и заданий проектов:

**Раздел 1. Скалярные 3D поля. Реконструкция.** Задачи обработки массива данных томограммы (3D-массива вокселей)

Проект 1.1: Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей.

Проект 1.2: Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей.

Проект 1.3: Визуализация сферы (2 сфер), заданных сегментами из криволинейных PN-треугольников или обычных треугольников.

Проект 1.4: Ray Tracing. Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Реализовать визуализацию N сфер, заданных полигонально или сегментами из криволинейных PN-треугольников.

Проект 1.5: Ray tracing. Ускоряющие структуры. Визуализация N цветных сфер в

корнуэльской комнате, которые медленно плавают соударяясь.

Проект 1.6: Реконструкция изоповерхности для МРТ томограммы.

Проект 1.7: 3D-стерео визуализация неполигональной поверхности трассировкой. Вращение сцены мышью. 3D-стерео режим - цветной анаглиф.

Проект 1.8: 3D-стерео визуализация неполигональной поверхности трассировкой. 3D-стерео режим - полуцветной анаглиф.

Проект 1.9: 3D-визуализация КТ-томограммы трассировкой с предынтегрированием.

## Раздел 2. Методы глобального освещения. Ускоряющие структуры. Виртуальная реальность

Проект 2.1...: Метод Ray tracing для корнуэльской комнаты со стеклянным кубом (шаром, тетраэдром). Глубина трассировки управляемая [1÷4].

Проект 2.4...: Метод Light tracing для корнуэльской комнаты, свет White или RGB со стеклянным кубом (шаром, тетраэдром).

Проект 2.7...: Метод Path tracing для корнуэльской комнаты, свет White или RGB со стеклянным кубом (шаром, тетраэдром).

...

Проект 2.13 - Optimized Bidirectional Path tracing для корнуэльской комнаты со стеклянным кубом (шаром, тетраэдром).

...

Проект 2.22 Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки. BVH-дерево, исследовать производительность на сцене из 1÷100 сфер.

...

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

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенции)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		Зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полностью знания вследствие отказа обучающегося от ответа	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 несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень 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 несущественным недочетом, 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. 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 некоторым и 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 собеседовании

Результат ответов	Оценка
Студент дает верные развернутые ответы на вопросы преподавателя	зачтено
Студент отвечает только на часть вопросов, или отвечает с ошибками, или не дает развернутого ответа на вопросы	не зачтено

### 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»

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

### 5.2.1 Контрольные вопросы для собеседования по ОПК-2.1

Вопрос	Код формируемой компетенции
<p>1. Компьютерная графика в системе современной науки и технологий.</p> <p>a. Компьютерная графика в информационных системах. Классификация разделов компьютерной графики в широком смысле.</p> <p>b. Соотношение курсов Компьютерная графика и Современная компьютерная графика.</p> <p>c. Современные открытые библиотеки и системы: VTK, ITK, ParaView, CGAL, Open CASCADE, SALOME</p>	ОПК-2.1
<p>2. Научная и инженерная визуализация. Алгоритмы объемной 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>d. Предынтегрированная визуализация и виртуальные выборки.</p> <p>e. Оптимизационные стратегии.</p> <p>f. Способы накопления цвета вдоль луча</p>	ОПК-2.1

<p>3. Алгоритмы стерео-визуализации.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Содержание и математические модели создания стерео-изображений.</li> <li>b. Технологии разделения изображений между правым и левым глазом.</li> <li>c. Реализации цветового анаглифа.</li> </ul>	ОПК-2.1
<p>4. Архитектура современных графических процессоров (GPU) для графики и вычислений. Вычисления общего назначения на GPU.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Базовые архитектуры вершинного и фрагментного шейдеров</li> <li>b. Сравнительная характеристика архитектуры G80 и современных графических процессоров Fermi и Kepler</li> <li>c. Соотношение версий OpenGL, MS DirectX и поколений графических процессоров</li> <li>d. Сравнительная характеристика графических конвейеров от DirectX9 до DirectX11: от вершинного и фрагментного шейдеров к геометрическому и Hull Shader, Tesselator и Domain Shader.</li> </ul>	ОПК-2.1
<p>5. Сегментация 3D данных. Реконструкция поверхностей. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Методы сегментации 2D и 3D данных: кластеризация однородных областей; разрастания регионов; К-средних; Слияние/разделение областей (region merging/splitting); метод Canny</li> <li>b. Метод Marching Cubes. Структуризация и параметризация его результата.</li> <li>c. Edge Based и Face Based структуры хранения сеточных данных. Упрощение сеток.</li> <li>d. Сплайны и методы подразбиения кривых и поверхностей.</li> </ul>	ОПК-2.1
<p>6. Методы и алгоритмы моделирования глобального освещения.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Энергетический подход. Основы фотометрии.</li> <li>b. Взаимодействие света с поверхностью. BRDF (ДФОС) и ее свойства.</li> <li>c. Уравнение визуализации. Площадная и полусферическая форма.</li> <li>d. Стохастическая трассировка пути. Прямое и вторичное освещение.</li> <li>e. Метод фотонных карт.</li> <li>f. Генерация случайного направления на сфере</li> </ul>	ОПК-2.1
<p>7. Трассировка лучей в реальном времени Оптимизация вычислений в визуализации глобального освещения 3D сцен</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Трассировка лучей как основа расчета глобального освещения. Алгоритм пересечения луча с треугольником. Различия между трассировкой лучей и</li> </ul>	ОПК-2.1



<p>путей. История развития методов глобального освещения</p> <p>б. Ускоряющие структуры. Kd-деревья</p> <p>с. Ускоряющие структуры. BVH-деревья</p>	
<p>8. Методы анимации сцен и персонажей</p> <p>а. Основные принципы и методы анимации сцен и персонажей.</p> <p>б. Скелетная анимация</p>	ОПК-2.1

## 5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-2.1

### 5.2.2.1 Список контрольных вопросов тестирования для оценки результатов формирования компетенций ОПК-2.1

№	Тестовые вопросы по разделам дисциплины
1	<p><b>Введение</b></p> <p>1. Тип – одиночный выбор. Что означает термин Visual Computing?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• вычисления, обеспечивающие зрение роботов</li> <li>• высокопроизводительные вычисления в области компьютерной графики в широком смысле</li> <li>• высокопроизводительная обработка видеосъемки</li> <li>• синтез изображений виртуальной реальности</li> <li>• вычисления, связанные с человеко-машинным интерфейсом</li> </ul> <p>2. Тип – одиночный выбор. Какая группа методов современной компьютерной графики обеспечивает наибольшую реалистичность визуализации</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методы растеризации</li> <li>• Методы трассировки лучей</li> <li>• Методы излучательности (Radiosity)</li> <li>• Методы глобального освещения</li> </ul> <p>3. Тип – одиночный выбор. Медицинская 3D визуализация это:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D визуализация трехмерных скалярных полей</li> <li>• 3D визуализация полей высот</li> </ul>
2	<p><b>Методы и алгоритмы глобального освещения</b></p> <p>1. Для количественной оценки фотометрических величин во всем оптическом диапазоне служит ... система единиц</p> <p>1) волновая      2) спектральная      3) энергетическая</p> <p>2. Функция относительной спектральной чувствительности максимальна в ... области спектра</p> <p>1) красной      2) зелёной      3) фиолетовой      4) ультрафиолетовой</p>

	<p>3. Какая общепринятая единица измерения используется для измерения мощности лучистого потока?  1) ватт    2) кандела    3) люмен    4) люкс</p> <p>4. Измерение какой фотометрической величины по направлениям дает информацию для решения основного уравнения освещенности?  1) светимость    2) яркость    3) освещённость    4) сила света</p> <p>5. Человеческий глаз непосредственно оценивает ...  1) световой поток    2) освещённость    3) светимость    4) яркость</p> <p>6. Если BRDF описывает отражающие свойства НЕзависящие от поворота вокруг нормали в точке, то она называется ...  1) позитивной    2) изотропной    3) анизотропной    4) негативной</p> <p>7. BRDF является ... функцией  1) двухмерной    2) трёхмерной    3) четырехмерной    4) пятимерной</p> <p>8. Значение BRDF при обращении падающего и отраженного направления ...  1) уменьшается    2) не изменяется    3) увеличивается    4) может изменяться</p> <p>9. Для интегрирования уравнения освещенности (измерения) применяется метод ...  1) Ньютона  2) Симпсона  3) Монте-Карло  4) наименьших квадратов</p> <p>10. Какой из перечисленных алгоритмов генерирует несмещенную оценку глобального освещения?  1) Прямая трассировка лучей  2) Обратная трассировка лучей  3) Трассировка путей  4) Метод фотонных карт</p> <p>11. Какой механизм ограничения длины путей позволяет достичь несмещённой оценки изображения?  1) фиксированная глубина трассировки  2) адаптивная глубина трассировки  3) метод «отжига» путей  4) метод «русской рулетки»</p> <p>12. Яркость излучения проходящего через оптическую систему при взаимодействии с ней ...  1) не может измениться  2) может только уменьшиться  3) может только увеличиться  4) может уменьшиться или увеличиться</p> <p>13. При алгоритмизации глобального освещения могут приниматься допущения, о том что падающая световая энергия покидает поверхность ...  1) мгновенно  2) в том же направлении</p>
--	--

	<p>3) из той же точки 4) не убывая</p> <p>14. Значение BRDF в данной точке зависит от ... 1) свойств материала 2) направления падения луча 3) направления отражения луча 4) облучения по другим направлениям 5) свойств оптической среды в окрестности точки</p> <p>15. При построении физически достоверных (несмещенных) моделей материалов для глобального освещения необходимо учитывать ... 1) закон сохранения энергии 2) закон сохранения импульса 3) принцип обратимости Гельмгольца 4) закон Амдала 5) закон Мура</p> <p>16. Какое из уравнений используется для моделирования глобального освещения? 1) уравнение баланса 2) уравнение видимости 3) уравнение освещенности</p> <p>17. Основные формы уравнения освещенности (визуализации, измерения) включают 1) геометрическую 2) полусферическую (угловую) 3) кубическую 4) площадную</p> <p>18. Расположите номера упомянутых исследований в хронологическом порядке: 1) двунаправленная трассировка путей, предложенная Э. Лафорчуном и Э. Вичем 2) трассировка путей Дж. Кайя 3) распределённая трассировка лучей Р. Кука 4) трассировка лучей Т. Уиттеда</p>
3	<p><b>Научная, инженерная и стерео- визуализация.</b></p> <p>1. Тип – ввод значения Укажите значение четвертой координаты для трехмерного вектора с координатами (x,y,z) в однородных координатах. <i>Правильный ответ:</i></p> <p>2. Тип – ввод значения Укажите значение четвертой координаты для трехмерной точки с координатами (x,y,z) в однородных координатах. <i>Правильный ответ:</i></p> <p>3. Тип – множественный выбор. Укажите которые из названий анаглифов являются правильными и изучались в курсе Современная компьютерная графика:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Color Anaglyphs</li> <li>• Blue Anaglyphs</li> <li>• True Color Anaglyphs</li> <li>• Gray Anaglyphs</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Red Anaglyphs</li> <li>• Optimized Anaglyphs</li> <li>• Half Color Anaglyphs</li> </ul> <p>4. Тип – одиночный выбор. Какому анаглифу соответствует следующее разложение:</p> $\begin{pmatrix} r_a \\ g_a \\ b_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_1 \\ g_1 \\ b_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} r_2 \\ g_2 \\ b_2 \end{pmatrix}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gray Anaglyphs.</li> <li>• Color Anaglyphs.</li> <li>• Half Color Anaglyphs.</li> <li>• True Color Anaglyphs.</li> <li>• Blue Anaglyphs</li> </ul>
4	<p><b>Сегментация 3D данных. Реконструкция поверхностей. Сеточные методы моделирования поверхностей и тел</b></p> <p>1. Тип – одиночный выбор. Сколько вариантов разбиения ребер куба точками, принадлежащими границе искомой поверхности, исключая повороты и симметрии, рассматривается в методе Marching Cubes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 256</li> <li>• 128</li> <li>• 15</li> </ul> <p>2. Тип – одиночный выбор. Какие объекты являются базовыми объектами полигональной поверхности.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Вершины.</li> <li>• Ребра.</li> <li>• Треугольники.</li> <li>• Многоугольники.</li> </ul> <p>3. Тип – одиночный выбор. Какая из названных сеточных структур является Edge Based структурой и обеспечивает трудоемкость почти всех операций O(1)?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Список вершин</li> <li>• Список граней</li> <li>• Список ребер</li> <li>• Таблица углов</li> <li>• Полуреберная</li> <li>• Матрица смежности</li> </ul> <p>4. Тип – одиночный выбор. Какая из названных сеточных структур является Face Based структурой и обеспечивает трудоемкость почти всех операций O(1)?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Список вершин</li> <li>• Список граней</li> <li>• Список ребер</li> <li>• Таблица углов</li> </ul>

- Полуреберная
- Матрица смежности

### 5.2.3 Темы проектов для текущего контроля ОПК-2.2

#### Раздел 1. Скалярные поля. Сегментация. Реконструкция. Задачи обработки массива данных томограммы (3D-массива вокселей)

**Исходные данные:** 3D (2D) массив исследуемых величин short, integer или float. Заданы размеры воксельной сетки  $N_x$ ,  $N_y$ ,  $N_z$  и шаг  $h$  по  $x, y, z$ .

MPT томограммы можно взять в zip-файле !!\_MRI-CANSER-bin.zip в материалах курса (<https://www.sites.google.com/site/turlapovveunn/advanced-computer-graphics-course>): 3 bin-файла и текстовое описание bin-формата. Во всех трех файлах в качестве исходных даны срезы в разных плоскостях: BRANIX-02 вид спереди - 99 слоев; CEREBRIX-01 вид сбоку - 175 слоев; CEREBRIX-02 вид сверху - 244 слоя. Выбор томограммы на Ваше усмотрение.

#### **Комментарий по реализации простой цветной трансфер-функции (TF):**

Для реализации простой цветной трансфер-функции (TF), соответствующей наблюдаемому диапазону (окну) плотностей  $[a, b]$ , цвета Color(a), Color(b) устанавливаются через стандартный диалог выбора цвета. Число цветов 2 и более. Для каждого цвета задается непрозрачность Alpha(a), Alpha(b),..., в диапазоне  $[0, 1]$ , по умолчанию равная 1. Для получения цвета, находящегося между каждой парой (например, Red-Yellow) соседних цветов, используется линейная интерполяция.

**Проект 1.1: Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей.** C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей ( $N_z$  2D слоев размером  $N_x \times N_y$  short integer данных на сетке с шагом  $dx, dy, dz$ ) компьютерной томограммы КТ (СТ). Сетку значений плотности  $S$  каждого слоя (среза) на  $\{x, y\}$  рисовать через текстуры или Quad-ы OpenGL. Реализовать просмотр серым окном (значения Transfer Function: от 0-черный до 255-белый, непрозрачность по умолчанию: 0-в черном, 1-в белом). Ширина окна трансформации по  $S$  при этом может изменяться как  $2^k$  от 128 до 4096. Все что выше – белое (255), все что ниже – черное (0). Левая граница окна (Sleft) на диапазоне  $[-1000, 3000]$  значений исходного массива данных и ширина окна  $dS$  изменяются слайдером. Прокрутка слоев – колесиком мыши. Отображение заданным цветом диапазона значений внутри круга, заданного протягиванием мыши от центра круга с зажатой левой клавишей (отобразить min, max и среднюю плотность в круге). Управление прозрачностью текущего слоя. Реализовать цветную TF (например, как в задаче 1.7)

**Проект 1.2: Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей.** Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей ( $N_z$  2D слоев размером  $N_x \times N_y$  short integer данных на сетке с шагом  $dx, dy, dz$ ). Сетку значений на  $\{x, y\}$  рисовать через текстуры или Quad-ы OpenGL. Реализовать просмотр слоев в оттенках серого. (см. задачу 1). Прокрутка слоев – колесиком мыши. Выделение окружностью, сформированной щелчком и протягиванием мыши, и 2D визуализация заданным цветом сегментированного однородного диапазона плотностей (например, отдельной кости). 3D визуализация сегментированного объекта методом научной визуализации.

**Проект 1.3: Визуализация сферы (2 сферы), заданных сегментами из криволинейных PN-треугольников или обычных треугольников.** Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Реализовать визуализацию сферы (2 сферы), заданных сегментами из криволинейных PN-треугольников или обычных треугольников. LOD  $[0, 5]$ , число сегментов по долготе  $\{4, 8\}$  и широте  $\{1, 2, 3\}$  управляются прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы плавают в корнуэльской комнате соударяясь между собой и со стенками. В методе криволинейных PN-треугольников реализовать возможности изменения LOD.

**Проект 1.4: Ray Tracing.** Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Реализовать визуализацию сфер (N сфер или поверхностей произвольной формы), заданных полигонально или сегментами из криволинейных PN-треугольников. LOD [0,5], число сегментов (или треугольников) по долготе {4,8} и широте {1,2,3} управляются прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы плавают в корнуэльской комнате соударяясь со стенками. Исследовать последствия изменения LOD в методе криволинейных PN-треугольников.

**Проект 1.5: Ray tracing. Ускоряющие структуры.** Язык - C# или C++, Windows Forms. Реализовать визуализацию сфер (N сфер), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных-факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0,5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы размещены в корнуэльской комнате случайно, медленно плавают соударяясь. Реализовать подходящую ускоряющую структуру, сравнить производительность на сцене из 1-100 сфер.

**Проект 1.6: Реконструкция изоповерхности.** Язык - C# или C++, Windows Forms. OpenGL. Послойная 2D-визуализация регулярного 3D-массива вокселей MPT томограммы ( $N_z$  2D слоев размером  $N_x \times N_y$  short integer данных на сетке с шагом  $dx, dy, dz$ ). Сетку значений на  $\{x, y\}$  рисовать через текстуры или Quad-ы OpenGL. Реализовать просмотр слоев в оттенках серого. Прокрутка слоев – колесиком мыши. Выделение на текущем слое щелчком и протягиванием мыши круга и диапазона плотностей в нем. Методом трассировки лучей (Ray Casting) реконструировать изоповерхность соответствующую числу из выделенного диапазона. Результат построить во втором окне в заданном цвете и прозрачности (изменяемых в интерфейсе). Нормали в вершинах рассчитывать по направлению антиградиента. Освещенность - по Фонгу.

**Проект 1.7: 3D-стерео визуализация неполигональной поверхности трассировкой.** Язык - C# или C++, Windows Forms, CPU-GPU(шейдеры). 3D-визуализация трассировкой (Ray Casting) неполигональной поверхности, заданной только диапазоном значений  $[a, b]$  на 3D массиве плотностей (томограмме) КТ. Простая Transfer Function для  $[a, b]$ : Color(a), Alpha(a), Color(b), Alpha(b). Освещенность по Фонгу (нормаль по антиградиенту). В интерфейсе слайдер для  $a$ , окно - для  $b$ , Color(a), Alpha(a), Color(b), Alpha(b). Вращение сцены мышью. 3D-стерео режим - цветной анаглиф.

**Проект 1.8: 3D-стерео визуализация неполигональной поверхности трассировкой.** Язык - C# или C++, Windows Forms, CPU-GPU(шейдеры). 3D-визуализация трассировкой (Ray Casting) части томограммы, заданной только диапазоном значений  $[a, b]$  на 3D массиве плотностей (томограмме) MPT (любой из трех в архиве !!\_MRI-CANSER-bin.zip). Простая Transfer Function для  $[a, b]$ : Color(a), Alpha(a), Color(b), Alpha(b). Освещенность по Фонгу (нормаль по антиградиенту). В интерфейсе слайдеры для  $a, b$ , Color(a), Alpha(a), Color(b), Alpha(b). Вращение сцены мышью. 3D-стерео режим - полупрозрачный анаглиф.

**Проект 1.9: 3D-визуализация трассировкой с предынтегрированием.** Язык - C# или C++, Windows Forms, CPU-GPU(шейдеры). 3D-визуализация трассировкой (Ray Casting) с предынтегрированием части КТ-томограммы, заданной диапазоном значений  $[a, b]$  на 3D массиве плотностей (томограмме). Простая Transfer Function для  $[a, b]$ : Color(a), Alpha(a), Color(b), Alpha(b). Освещенность по Фонгу (нормаль по антиградиенту). В интерфейсе слайдеры для  $a, b$ , Color(a), Alpha(a), Color(b), Alpha(b). Вращение сцены мышью.

## **Раздел 2. Методы глобального освещения. Ускоряющие структуры. Виртуальная реальность**

**Исходные данные:** Корнуэльская комната с 1 площадным источником света на потолке (форма и распределение интенсивности по площади – любые, с яркостью регулируемой слайдером), с полужеркальными боковыми стенами (коэффициент зеркальности – слайдером TrackBar). Внутри комнаты - матовый белый и зеркальный шары, и по вариантам: 1) стеклянный куб,

стоящий на одной из вершин, или 2) стеклянный шар или 3) стеклянный тетраэдр. На полу процедурная текстура-клетка. Стеклянные объекты слева на переднем плане и приподняты над полом на величину радиуса. Матовый шар приближен к одной из цветных стен. Реализовать на CPU, GPU: сравнить производительность. Для CPU опробовать реализовать методы распараллеливания.

## **Проекты 2:**

2.1 - **Метод Ray tracing** со стеклянным кубом. Глубина трассировки управляемая  $[1 \div 4]$ .

2.2 - **Метод Ray tracing** со стеклянной сферой. Глубина трассировки управляемая  $[1 \div 4]$ .

2.3 - **Метод Ray tracing** со стеклянным тетраэдром. Глубина трассировки управляемая  $[1 \div 4]$ .

2.4 - **Метод Light tracing**, свет White или RGB со стеклянным кубом

2.5 - **Метод Light tracing**, свет White или RGB со стеклянным шаром

2.6 - **Метод Light tracing**, свет White или RGB со стеклянным тетраэдром

2.7 - **Метод Path tracing**, свет White или RGB со стеклянным кубом

2.8 - **Метод Path tracing**, свет White или RGB со стеклянным шаром

2.9 - **Метод Path tracing**, свет White или RGB со стеклянным тетраэдром

2.10 - **Метод Light tracing** со стеклянным шаром, источник spot  $90^\circ$  – светит вверх на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.11 - **Метод Light tracing** со стеклянным тетраэдром, источник spot  $90^\circ$  – светит на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.12 - **Метод Ray tracing с управляемой [1-4] глубиной трассировки** (или, факультативно, Path tracing). Комната с матово-зеркальной (управление) сферой, заданной сегментами из криволинейных PN-треугольников. LOD  $[0,5]$ , число сегментов по долготе  $\{4,8\}$  и широте  $\{1,2,3\}$ , - управляются прокрутками NumericUpDown.

2.13 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянным кубом

2.14 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянной сферой

2.15 - **Optimized Bidirectional Path tracing** со стеклянным тетраэдром

2.16 - **Metropolis Light Transport** со стеклянным кубом

2.17 - **Metropolis Light Transport** со стеклянной сферой

2.18 - **Metropolis Light Transport** со стеклянным тетраэдром

2.19 - **Optimized Bidirectional Path tracing со стеклянным кубом.** Источник - spot  $90^\circ$  – светит на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.20 - **Optimized Bidirectional Path tracing со стеклянной сферой.** Источник - spot  $90^\circ$  – светит на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

2.21 - **Optimized Bidirectional Path tracing со стеклянным тетраэдром.** Источник - spot  $90^\circ$  – светит на потолок с высоты люстры (управляемая величина).

**2.22 Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** C# или C++, Windows Forms. CPU. Реализовать визуализацию N сфер ( $N < 100$  - управление), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных-факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы размещены в корнуэльской комнате по кругу (или концентрическими кругами). Построить BVH-дерево, сравнить производительность на сцене из 1÷100 сфер.

**2.23 Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** C# или C++, Windows Forms. Ускоряющие структуры. CPU. Реализовать визуализацию N сфер (1÷100 - управление), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных - факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Может быть задан цвет каждой сферы. Сферы размещены в корнуэльской комнате в форме квадрата вдоль стен (или концентрическими квадратами). Построить окто-дерево (Octree), сравнить производительность с/без дерева на сцене из 1÷100 сфер.

**2.24 Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** C# или C++, Windows Forms. Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки. CPU. Реализовать визуализацию  $N=2^m$  сфер ( $m=1÷4$  - управление), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных-факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Сферы: 1)зеркальные; 2)матовые со случайным цветом; 3)зеркальные только нечетные (RadioButton). Сферы размещены в корнуэльской комнате в виде регулярной решетки в нижней половине комнаты. Построить kd-дерево (тип на выбор, выбор обосновать), сравнить производительность визуализации с деревом/без дерева на сцене из  $2^m$  сфер.

**2.25 Ускоряющие структуры. Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** C# или C++, Windows Forms.. CPU. Реализовать визуализацию  $N=2^m$  сфер ( $m=1÷4$  - управление), заданных по-октантно сегментами из криволинейных треугольников. LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Сферы: 1)зеркальные; 2)матовые со случайным цветом; 3)зеркальные только нечетные (RadioButton). Сферы размещены случайным образом в нижней половине корнуэльской комнаты. Построить kd-дерево по SAN-критерию, сравнить производительность визуализации с деревом/без дерева на сцене из  $2^m$  сфер.

**2.26 Ускоряющие структуры. GPU Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** C# или C++, Windows Forms. Реализовать визуализацию  $N=2^m$  сфер ( $m=1÷4$  - управление), заданных по-октантно сегментами из треугольников (криволинейных-факультативно). LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Сферы: 1)зеркальные; 2)матовые со случайным цветом; 3)зеркальные только нечетные (RadioButton). Сферы размещены в корнуэльской комнате в виде регулярной решетки в нижней половине комнаты. Построить kd-дерево (тип на выбор, выбор обосновать), сравнить производительность визуализации с деревом/без дерева на сцене из  $2^m$  сфер.

**2.27 Ускоряющие структуры. GPU Ray tracing с управляемой [1÷4] глубиной трассировки.** C# или C++, Windows Forms. Реализовать визуализацию  $N=2^m$  сфер ( $m=1÷4$  - управление), заданных по-октантно сегментами из криволинейных треугольников. LOD сегмента подобно криволинейному PN-треугольнику [0÷5] и управляется прокрутками NumericUpDown. Сферы: 1)зеркальные; 2)матовые со случайным цветом; 3)зеркальные только нечетные (RadioButton). Сферы размещены случайным образом в нижней половине корнуэльской комнаты. Построить kd-дерево по SAN-критерию, сравнить производительность визуализации с деревом/без дерева на сцене из  $2^m$  сфер.

## Критерии оценки проекта



Дескрипторы качества исполнения	Оценка
Проект выполнен с превышением объема и в срок; результаты работы программы корректны на тестовых примерах или проведен требуемый вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.	превосходно
Проект выполнен в полном объеме и в срок; результаты работы программы корректны на тестовых примерах или проведен требуемый вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.	отлично
Проект выполнен практически в полном объеме и в срок; результаты работы программы корректны на большинстве тестовых примеров или в основном проведен вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.	очень хорошо
Проект в основном выполнен и в срок; результаты работы программы корректны на большинстве тестовых примеров или в основном проведен вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить почти все действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.	хорошо
Проект выполнен более, чем наполовину; результаты работы программы корректны на большинстве тестовых примеров или в основном проведен вычислительный эксперимент; результаты работы представлены преподавателю; исполнитель может объяснить почти все действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.	удовлетворительно
Проект выполнен менее, чем наполовину; результаты работы программы некорректны на большинстве тестовых примеров или не проведен вычислительный эксперимент; результаты работы не представлены преподавателю; исполнитель не может объяснить действия команд программы и внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.	неудовлетворительно
Проект не выполнен (программа отсутствует); результаты работы не представлены преподавателю; исполнитель не может объяснить действия команд программы и не может внести простые изменения в алгоритм по требованию преподавателя.	плохо

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

- 1) Александр Куликов, Тамара Овчинникова Алгоритмические основы современной компьютерной графики: (<http://www.intuit.ru/studies/courses/70/70/info>)
- 2) Курс: Турлапов В.Е. «Компьютерная графика ДО» <https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=804>.
- 3) 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:

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

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 1) Ресурсы конференции SIGGRAPH ([www.siggraph.org](http://www.siggraph.org))
- 2) Библиотека OpenTK <https://github.com/opentk/opentk>
- 3) Спецификации OpenGL и GLSL <https://www.opengl.org/>
- 4) Krivanec Jaroslav papers: <http://cgg.mff.cuni.cz/~jaroslav/papers/>

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютерный класс, проектор, экран.

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

Учебная и научная литература, учебно-методические материалы, представленные в библиотечном фонде, в электронных библиотеках и на кафедре математического обеспечения и суперкомпьютерных технологий.

Для аудиторных и самостоятельных практических занятий используется только открытое программное обеспечение, установленное на персональных компьютерах обучающихся:

- 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) Желательно NVIDIA CUDA, актуальной версии (лицензия BSD)
- 4) Желательно NVIDIA OptiX, актуальной версии (лицензия BSD)
- 5) OpenGL ([www.opengl.org](http://www.opengl.org)), лицензия BSD

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 02.04.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор \_\_\_\_\_ В.Е. Турлапов

Рецензент \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Р.Г. Стронгин

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики  
от 30.11.2022 года, протокол № 3.