

**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:	Математические основы 3D-визуализации
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Системное программирование и прикладная математика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра технологий цифровой трансформации
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.О. Афанасьев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры технологий цифровой трансформации 25.03.2021

Аннотация

Теоретические и практические знания в области математических основ и алгоритмов компьютерной графики, позволяющие осуществлять разработку математического и программного обеспечения интерактивных систем реалистичной 3D-визуализации.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

сформировать теоретические и практические знания в области математических основ и алгоритмов компьютерной графики, позволяющие осуществлять разработку математического и программного обеспечения интерактивных систем реалистичной 3D-визуализации (систем виртуальной реальности).

Задачи дисциплины

- овладение теоретическими основами методов и алгоритмов синтеза изображений;
- получение знаний в области описания, моделирования и визуализации поверхностей;
- освоение методов и алгоритмов моделирования распространения света в 3D-сценах;
- изучение оптико-геометрических основ стереовидения и стереовизуализации.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре)	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны
знать:

- математический аппарат аффинных и аффинно-проективных преобразований;
- матрицы, матричные и векторные операции для основных классов параллельных проекций на плоскость;
- матрицы, матричные и векторные операции для перспективных преобразований и построения перспективных проекций на плоскость;
- особенности использования математического аппарата аналитической геометрии и линейной алгебры в задачах вычислений для синтеза изображений;
- формы описания и способы миграций между различными формами описания прямых и плоскостей в пространствах 2D и 3D;
- способы описания поверхности в контексте задачи 3D-визуализации;
- способы описания дифференциальных свойств поверхности применительно к вычислениям для 3D-визуализации;
- принципы и методы решения задачи восполнения поверхностей;
- существующие подходы (с описанием их достоинств и недостатков) к описанию геометрических 3D-примитивов;
- методы описания существующих разновидностей 3D-примитивов;
- подходы к представлению поверхностей с помощью массивов плоских полигональных ячеек;
- основные алгоритмы триангуляции поверхностей;
- основные сведения о сплайновых поверхностях;
- подходы, методы и алгоритмов удаления невидимых линий при формировании изображений поверхностей;
- ретроспективу развития подходов, методов и алгоритмов удаления невидимых линий при формировании изображений поверхностей;
- принцип действия и назначение растеризации;
- подходы к подавлению артефактов растеризации на границах областей (основные виды алгоритмов Брезенхэма);
- принципы работы, аппаратной поддержки, возможности, достоинства и недостатки алгоритма z-буфера;
- принципы работы, аппаратной поддержки, возможности, достоинства и недостатки алгоритмов трассировки лучей;
- современные представления об организации и аппаратной поддержке алгоритмов трассировки лучей;
- постановку и подходы к решению геометрической задачи трассировки неплоских поверхностей, в том числе заданных в параметрической форме;
- математические основы, подходы к реализации и возможности CSG-операций;
- математические основы описания структуры поверхностей виртуальных 3D-объектов;
- математические основы управления формой поверхностей виртуальных 3D-объектов;
- математические и физические основы расчётов освещённости и видимой яркости точек поверхностей в алгоритмах трассировки лучей;
- оптико-физические основы вычислений BRDF;
- существующие подходы к вычислениям BRDF;
- строение и особенности функционирования зрительного анализатора в целом;
- строение и особенности функционирования сенсорного отдела зрительного анализатора человека;
- подходы к построению редуцированных оптико-геометрических моделей камерного глаза и бинокулярной зрительной системы человека;
- современные представления о процессах формирования у человека объёмного образа окружающей среды на основе бинокулярного восприятия;
- принципы организации процессов визуализации виртуальных 3D-объектов непосредственно в объёме;
- принципы организации, основные возможности, достоинства и недостатки стереоскопической визуализации виртуальных 3D-объектов;
- артефакты моно- и стереоскопической визуализации;
- существующие и перспективные подходы к сепарации полей стереопары;
- принципы устройства и функционирования различных видов стереоскопического интерфейса;
- принципы построения оптико-геометрических моделей видеоинтерфейса с большим числом степеней свободы;
- подходы и основы методологии создания API для создания видеоинтерфейса с большим числом степеней свободы;
- подходы и основы методологии создания API для задач рендеринга;
- подходы и основы методологии создания API для задач моделирования поведения и реконструкции состояния сенсорного отдела зрительного анализатора;
- основы методологии ООП применительно ко всем основным задачам создания систем

уметь:

- применять формы описания и способы миграций между различными формами описания прямых и плоскостей в пространствах 2D и 3D;
- описывать поверхности в контексте задачи 3D-визуализации;
- описывать дифференциальные свойства поверхности применительно к вычислениям для 3D-визуализации;
- использовать методы решения задач восполнения поверхностей;
- применять основные алгоритмы триангуляции поверхностей; основные алгоритмы триангуляции поверхностей;
- применять описания сплайновых поверхностей;
- применять подходы, методы и алгоритмов удаления невидимых линий при формировании изображений поверхностей;
- применять ретроспективу развития подходов, методов и алгоритмов удаления невидимых линий при формировании изображений поверхностей;
- применять подходы к подавлению артефактов растеризации на границах областей (основные виды алгоритмов Брезенхэма);
- реализовать CSG-операций;
- вычислять BRDF;
- применять основы методологии ООП ко всем основным задачам создания систем 3D-визуализации;
- применять основы методологии ООП к задачам создания API для систем 3D-визуализации.

владеть:

- методами математического описания, управления формой и построения изображений проекций поверхностей 3D-объектов;
- методологией разработки математического и программного обеспечения графического ядра системы 3D-визуализации (системы рендеринга);
- методологией разработки математического и программного обеспечения стереоскопического видеоинтерфейса для интерактивных систем 3D-визуализации.

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	Математические основы методов и алгоритмов 3D-визуализации.	6	6		15
2	Описание, моделирование и 3D-визуализация поверхностей.	6	6		15
3	Структура поверхности 3D-объекта и управление её формой.	6	6		15
4	Моделирование распространения света в 3D-сценах и вычисление освещенности.	6	6		15
5	Опτικο-геометрические основы стереовидения и стереовизуализации.	6	6		15
Итого часов		30	30		75
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

1. Математические основы методов и алгоритмов 3D-визуализации.

Элементарные преобразования на плоскости (поворот, растяжение симметрия) и связанные с ними матрицы. Параллельный перенос. Ограниченность возможностей ортогональных преобразований 1-го рода. Однородные координаты. Аффинно-проективные преобразования на плоскости и в пространстве. Суперпозиция аффинно-проективных преобразований. Вращение 3D-объекта и связанные с ним матрицы. Углы Эйлера и Крылова и связанные с ними матрицы. Проецирование. Основные классы проекций на плоскость (ортографическая, косоугольная, аксонометрическая, перспективная проекции) и связанные с ними матрицы. Центральное проецирование на плоскость и перспективное преобразование. Матрицы одно-, двух- и трехточечных перспективных преобразований, и проецирования. Основные принципы программной реализации аффинно-проективных преобразований. Подходы к организации решетки классов для описания поверхности.

2. Описание, моделирование и 3D-визуализация поверхностей.

Каноническое определение поверхности и использование его в задачах 3D-визуализации. Визуализация явных и самопересекающихся поверхностей. Взаимосвязь подходов к определению поверхностей и принципов их 3D-визуализации. Принцип визуализации поверхностей, задаваемых неявными функциями. Определения нормали и касательной к поверхности в заданной точке и связанные с ними вычисления в алгоритмах 3D-визуализации. Ретроспектива подходов к описанию и моделированию 3D-примитивов. Общие сведения о сплайновых поверхностях. Полигональные сетки с плоскими ячейками. Триангуляция поверхностей. Триангуляция Делоне и диаграммы Вороного, и их двойственность. Алгоритмы триангуляции. Принципы визуализация поверхностей с удалением невидимых линий фрагментов и ретроспектива связанных с ними алгоритмов. Растеризация и алгоритмы Брезенхема. Алгоритм Z-буфера, его возможности и ограничения. Алгоритмы трассировки (прямой и обратной) лучей, их возможности и ограничения. CSG-операции и моделирование поверхностей на основе CSG-операций.

Составная полиморфная поверхность. Гибридные алгоритмы обратной трассировки лучей. Основные принципы программной реализации визуализации 3D-поверхностей. Подходы к организации решетки классов для описания поверхностей и вычислений для их визуализации.

3. Структура поверхности 3D-объекта и управление её формой.

Понятие структуры поверхности 3D-объекта. Иерархическая структура поверхности 3D-объекта и древовидный граф. Структурное дерево и связанный список. Взаимосвязь дерева структуры и кинематических систем 3D-объекта и их использование для управления формой 3D-объекта. Организация вычислений суперпозиции аффинно-проективных преобразований на основе дерева структуры поверхности. Иерархические структуры с переменным отношением порядка (RTR-деревья) и связанные RTR-списки. Моделирование поведения и взаимодействия 3D-объектов с изменением компонент связности и отношения порядка. Модели данных и подходы к программной реализации управления формой поверхности 3D-объектов.

4. Моделирование распространения света в 3D-сценах и вычисление освещенности.

Видимая точка поверхности и принципы организации вычислений для определения её яркости в алгоритмах Z-буфера и трассировки. Полная и частичная трассировка лучей. Световое дерево. Вычисления освещенности на основе алгоритмов Гуро и Фонга и их ограниченные возможности. Алгоритм тривиального расчёта освещенности на основе характеристик луча и свойств поверхности в видимой точке. Понятие BRDF (двунаправленная функция распределения отражений) и подходы к её вычислениям и табуляции. Приближённые вычисления BRDF на основе 3-х и 5-ти компонентных аддитивных функций освещенности. Возможности алгоритма обратной трассировки для решения прикладных задач, не связанных с оптикой (моделирование воздействия и защиты от воздействия высокоскоростных частиц различного происхождения на объекты сложной геометрической формы). Возможности алгоритма обратной трассировки для моделирования наблюдений с использованием оптических систем в различных областях спектра и средах распространения.

5. Оптико-геометрические основы стереовидения и стереовизуализации.

Зрительное восприятие 3D-среды в естественных условиях и бинокулярное зрение. Подходы к моделированию условий объемного видения с использованием 2D- и 3D-носителей изображения. Зрительный анализатор человека и его основные отделы. Редуцированная оптико-геометрическая модель глаза человека. Стереоскопия и непосредственный вывод 3D-объектов. Стереопара. Существующие подходы к сепарации полей стереопары. Модель стереоскопа и её ограниченные возможности как бинокулярного видеоинтерфейса. Сходство и различия систем виртуальной реальности и стереовизуализации. Артефакты зрительного восприятия статических и динамических 3D-сцен (конфликт вергенции и аккомодации, искажения ракурсов, инверсия параллакса движения). Подходы к нейтрализации артефактов зрительного восприятия объема. Модели данных и подходы к программной реализации высокоточного стереоинтерфейса (видеопост, оптико-геометрическая, координатная и объектная модели видеопоста).

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

учебная аудитория, оснащенная мультимедийным проектором, экраном, доской (меловой или Whiteboard).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Основы математического и программного обеспечения систем 3D-визуализации индуцированного виртуального окружения [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. О. Афанасьев, С. В. Клименко ; М-во образования и науки РФ ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т), Фак. высоких технологий и инноваций. — М. : МФТИ, 2014. — 241 с.

Дополнительная литература

1. Курс аналитической геометрии и линейной алгебры [Текст] : учебник для вузов / Д. В. Беклемишев. — 8-е изд., перераб. — М. : Физматлит, 2000, 2001, 2002. — 376 с.

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

1. <http://www.exponenta.ru> – образовательный математический сайт.
2. <http://mathnet.ru> – общероссийский математический портал.
3. <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование».
4. <http://benran.ru> –библиотека по естественным наукам Российской академии наук.
5. <http://www.i-exam.ru> – единый портал Интернет-тестирования в сфере образования.
6. <https://developer.nvidia.com> – портал поддержки разработчиков ПО 3D-визуализации.

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

В процессе самостоятельной работы обучающихся предполагается использование таких программных средств, как Microsoft Visual Studio, OpenGL, 3D-Studio MAX, Open Scene Graph, Blender и др.

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

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к практическим занятиям, выполнение 3-х индивидуальных домашних заданий.

Промежуточный контроль знаний проводится в виде письменных опросов по теории. Кроме этого в ходе освоения курса студент должен выполнить проект, содержащий три задания с их последующей защитой.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Системное программирование и прикладная математика Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра технологий цифровой трансформации
курс:	3
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	В.О. Афанасьев, д-р физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре)	ОПК-5.1 Способен решать поставленные задачи в области теоретических и экспериментальных исследований и разработок
	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
	ОПК-5.3 Способен к профессиональной эксплуатации современной экспериментальной научно-исследовательской (измерительно-аналитической и технологической) аппаратуры
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Знает принципы построения научной работы, методы сбора и анализа полученного материала, способы аргументации
	ПК-2.2 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого научного коллектива
	ПК-2.3 Способен проводить апробацию результатов научно-исследовательской работы посредством публикации научных статей и участия в конференциях

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Математические основы 3D-визуализации» обучающийся должен:

знать:

- математический аппарат аффинных и аффинно-проективных преобразований;
- матрицы, матричные и векторные операции для основных классов параллельных проекций на плоскость;
- матрицы, матричные и векторные операции для перспективных преобразований и построения перспективных проекций на плоскость;
- особенности использования математического аппарата аналитической геометрии и линейной алгебры в задачах вычислений для синтеза изображений;
- формы описания и способы миграций между различными формами описания прямых и плоскостей в пространствах 2D и 3D;
- способы описания поверхности в контексте задачи 3D-визуализации;
- способы описания дифференциальных свойств поверхности применительно к вычислениям для 3D-визуализации;
- принципы и методы решения задачи восполнения поверхностей;
- существующие подходы (с описанием их достоинств и недостатков) к описанию геометрических 3D-примитивов;
- методы описания существующих разновидностей 3D-примитивов;
- подходы к представлению поверхностей с помощью массивов плоских полигональных ячеек;
- основные алгоритмы триангуляции поверхностей;
- основные сведения о сплайновых поверхностях;
- подходы, методы и алгоритмы удаления невидимых линий при формировании изображений поверхностей;
- ретроспективу развития подходов, методов и алгоритмов удаления невидимых линий при формировании изображений поверхностей;
- принцип действия и назначение растеризации;
- подходы к подавлению артефактов растеризации на границах областей (основные виды алгоритмов Брезенхэма);
- принципы работы, аппаратной поддержки, возможности, достоинства и недостатки алгоритма z-буфера;
- принципы работы, аппаратной поддержки, возможности, достоинства и недостатки алгоритмов трассировки лучей;
- современные представления об организации и аппаратной поддержке алгоритмов трассировки лучей;
- постановку и подходы к решению геометрической задачи трассировки неплоских поверхностей, в том числе заданных в параметрической форме;
- математические основы, подходы к реализации и возможности CSG-операций;
- математические основы описания структуры поверхностей виртуальных 3D-объектов;
- математические основы управления формой поверхностей виртуальных 3D-объектов;
- математические и физические основы расчётов освещённости и видимой яркости точек поверхностей в алгоритмах трассировки лучей;
- оптико-физические основы вычислений BRDF;
- существующие подходы к вычислениям BRDF;
- строение и особенности функционирования зрительного анализатора в целом;
- строение и особенности функционирования сенсорного отдела зрительного анализатора человека;
- подходы к построению редуцированных оптико-геометрических моделей камерного глаза и бинокулярной зрительной системы человека;
- современные представления о процессах формирования у человека объёмного образа окружающей среды на основе бинокулярного восприятия;
- принципы организации процессов визуализации виртуальных 3D-объектов непосредственно в объёме;
- принципы организации, основные возможности, достоинства и недостатки стереоскопической визуализации виртуальных 3D-объектов;
- артефакты моно- и стереоскопической визуализации;
- существующие и перспективные подходы к сепарации полей стереопары;
- принципы устройства и функционирования различных видов стереоскопического интерфейса;
- принципы построения оптико-геометрических моделей видеоинтерфейса с большим числом степеней свободы;
- подходы и основы методологии создания API для создания видеоинтерфейса с большим числом степеней свободы;
- подходы и основы методологии создания API для задач рендеринга;
- подходы и основы методологии создания API для задач моделирования поведения и реконструкции состояния сенсорного отдела зрительного анализатора;
- основы методологии ООП применительно ко всем основным задачам создания систем

уметь:

- применять формы описания и способы миграций между различными формами описания прямых и плоскостей в пространствах 2D и 3D;
- описывать поверхности в контексте задачи 3D-визуализации;
- описывать дифференциальные свойства поверхности применительно к вычислениям для 3D-визуализации;
- использовать методы решения задач восполнения поверхностей;
- применять основные алгоритмы триангуляции поверхностей; основные алгоритмы триангуляции поверхностей;
- применять описания сплайновых поверхностей;
- применять подходы, методы и алгоритмов удаления невидимых линий при формировании изображений поверхностей;
- применять ретроспективу развития подходов, методов и алгоритмов удаления невидимых линий при формировании изображений поверхностей;
- применять подходы к подавлению артефактов растеризации на границах областей (основные виды алгоритмов Брезенхэма);
- реализовать CSG-операций;
- вычислять BRDF;
- применять основы методологии ООП ко всем основным задачам создания систем 3D-визуализации;
- применять основы методологии ООП к задачам создания API для систем 3D-визуализации.

владеть:

- методами математического описания, управления формой и построения изображений проекций поверхностей 3D-объектов;
- методологией разработки математического и программного обеспечения графического ядра системы 3D-визуализации (системы рендеринга);
- методологией разработки математического и программного обеспечения стереоскопического видеоинтерфейса для интерактивных систем 3D-визуализации.

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Ортогональные преобразования на плоскости и в 3D-пространстве (элементарные преобразования и их матрицы, композиция преобразований и формирование их матриц).
2. Основные классы проекций на плоскость и связанные с ними матричные преобразования.
3. Аффинные и аффинно-проективные преобразования и их матрицы.
4. Понятие несобственной точки на плоскости и её координатное представление.
5. Перспективная проекция и перспективное преобразование. Координаты несобственных точек и точек схода.
6. Формы описания прямой и плоскости. Миграция между формами описания прямой и плоскости.
7. Определение поверхности. Способы задания поверхности. Понятия точки поверхности, носителя точки поверхности и носителя поверхности. Эквивалентные отображения замыкания плоской области в R^3 .
8. Неявная поверхность. Уравнения касательной плоскости и единичного вектора нормали для заданной точки неявной поверхности.
9. Задача восполнения поверхности. Подход к восполнению поверхностей. Триангуляция.
10. Сплайновые поверхности.
11. Триангуляция Делоне. Определение и основные свойства ТД.
12. Жадный алгоритм ТД и его свойства.
13. Диаграммы Вороного и ТД. Двойственность задачи ТД и ДВ.
14. Алгоритмы с предварительным упорядочиванием (плавающего горизонта, художника, сортировка граней с использованием BSP-деревьев).
15. Растеризация и её артефакты (для линий и границ областей).
16. Алгоритм Z-буфера. Его организация, достоинства и недостатки.
17. Алгоритм Брезенхэма для отрезков прямых на дискретном растре.

18. Алгоритм обратной трассировки лучей, его организация, достоинства и недостатки.
19. Полный алгоритм обратной трассировки лучей. Световое дерево.
20. Подмножество алгоритма обратной трассировки (Ray-Casting).
21. Подходы к снижению вычислительной нагрузки в алгоритме обратной трассировки.
22. Использование алгоритма отсекаателя Сайруса-Бека на плоскости и в пространстве для формирования ограничивающих объемов.
23. Отсекатель Сайруса-Бека как 3D-примитив.
24. Расчёт глобальной освещённости.
25. Понятие BRDF. Модели BRDF. Вычисления и измерения BRDF.
26. BRDF и её приближённое вычисление на основе 3-х и 5-ти компонентной аддитивной функции.
27. Трассировка плоских областей.
28. Трассировка неплоских примитивов.
29. Составить систему уравнений и схему алгоритма обратной трассировки плоского кольца.
30. Составить систему уравнений и схему алгоритма обратной трассировки сплошной сферы.
31. Составить систему уравнений и схему алгоритма обратной трассировки конической поверхности.
32. Принципы организации CSG-операций в алгоритме обратной трассировки.
33. Понятие составной полиморфной поверхности (СПП) и организация алгоритма её трассировки.
34. Сопоставление СПП и триангулянта (с точки зрения описания поверхности и организации алгоритмов трассировки и Z-буфера).
35. Понятия и определения «бинокулярная визуализация», «стереоскопическая визуализация».
36. Строение камерного глаза. Редуцированная модель камерного глаза. Оптико-геометрическая модель анатомического отдела бинокулярной зрительной системы человека.
37. Бинокулярная зрительная система и бинокулярный интерфейс визуализации.
38. Наиболее сложные и нерешённые проблемы стереоскопической визуализации (конфликт аккомодации и вергенции, искажения при 2D-визуализации 3D-объектов, инверсия параллакса).
39. Иерархическая структура 3D-объекта, её формирование и использование.
40. Декомпозиции и формообразование 3D-объекта на основе структурного дерева.
41. Рекурсивный обход дерева структуры и формулы ортогональных преобразований для координатных фреймов узлов дерева.
42. Структура и кинематическая система 3D-объекта. Основные принципы использования структуры 3D-объекта для управления его формой.
43. Иерархические структуры с переменным отношением порядка.
44. Представление обычных связанных списков и связанных RTR-списков средствами UML.
45. Инкапсулируемые свойства связанных списков при описании поверхности 3D-объекта.
46. Виртуальный RTR-список и принципы построения алгоритма его обхода.
47. Особенности выполнения операций «склейка» и «разбиения» на RTR-деревьях.
48. Принципы построения интерфейса и реализаций операций «склейка» и «разбиения» на RTR-деревьях.
49. Паттерны моделирования операций «склейка» и «разбиения» на RTR-деревьях.
50. Особенности программной реализации ортогональных преобразований на RTR-деревьях при изменении связности графа 3D-сцены
51. Принципы построения программного интерфейса ортогональных преобразований на RTR-деревьях при изменении связности графа 3D-сцены
52. Модель взаимодействия «клиент-сервер» для системы визуализации.
53. Архитектура и топология распределённой системы 3D-визуализации.
54. Основные фазы моделирования и формирования изображения виртуальной среды в распределённой системе 3D-визуализации.
55. Основные проблемы, возникающие при использовании транспортного протокола UDP в распределённой системе 3D-визуализации.
56. Модели данных для описания состояния виртуальных 3D-объектов. Особенности моделей данных для транспортировки состояния объектов «над протоколами» UDP и TCP.
57. Понятие кадра состояния виртуального 3D-объекта, основные классы для описания поведения виртуальных 3D-объектов.

58. Принципы организации протокола прикладного уровня для распределённой системы визуализации
59. Понятие регулярных и нерегулярных 3D-объектов и описание состояния в контексте протокола прикладного уровня для распределённой системы 3D-визуализации.
60. Управление состоянием регулярных и нерегулярных 3D-объектов и особенности их рендеринга.

Примеры экзаменационных билетов из 4-х вопросов

В каждом билете содержатся по 4 вопроса, при ответе на которые учащийся должен показать знания соответствующих тем (разделов) программы курса. Один из вопросов может иметь форму задачи.

Билет.

1. Формы описания прямой и плоскости в пространствах 2D и 3D. Миграция между формами описания прямой и плоскости.
2. Перспективная проекция и перспективное преобразование. Матрицы перспективного преобразования и перспективного проецирования. Координаты несобственных точек и точек схода.
3. Построить матрицу поворота вокруг оси, проходящей через точку $A(a_1, a_2, a_3)$, имеющую направляющий вектор (l, m, n) единичной длины для 3D-пространства.
4. Система уравнений и схема алгоритма обратной трассировки конической поверхности

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Компьютерная 3D графика» осуществляется в форме экзамена. Экзамен проводится в устной форме.

Каждый студент в течение семестра должен выполнить индивидуальный проект, который состоит из 3-х или 4-х заданий, завершающиеся программной реализацией.

Для программной реализации используется язык C++ и API OpenGL 3. Проект должен сопровождаться сборочным скриптом CMakeLists.txt.

Примеры проектов с разбиением на задания:

Проект 1. Визуализация трехмерной поверхности, составленной из простых тел (полигональная поверхность, которая является результатом применения булевских операций).

Разбиение на задания.

1. Построить и визуализировать полигональную поверхность. Параметры: размеры и координаты центров куба и сферы, тип операции (пересечение, объединение, вычитание). Результат должен выводиться при любых значениях параметров. Использовать два вершинных атрибута: координаты вершин и цвет. Цвет можно назначить вершинам произвольно. Поддерживать возможность управления камерой от клавиатуры для облета поверхности, приближения/удаления. По желанию можно вывести сетку. Для этого нужно отрисовать полигоны повторно с командами `glPolygonMode` и `glPolygonOffset`
2. Использовать несколько источников света :
 - Добавить освещение с бликами от 2х источников света одновременно. 1й - точечный источник, должен двигаться вокруг поверхности. 2й - на голове, который движется вместе с виртуальной камерой и светит конусом (spotlight)
 - Текстурировать полигональную поверхность.
3. Реализовать зеркало:
 - Разместить рядом с поверхностью зеркало в виде плоского 4-угольника.
 - С помощью рендеринга в текстуру выполнить «честное» отражение поверхности в зеркале в зависимости от положения камеры.
 - С помощью GUI или клавиатуры реализовать управление положением и ориентацией зеркала.

- Дополнительно: можно реализовать отложенный рендеринг и добавить эффекты постобработки

4. Решить исходную задачу (булевские операции) с помощью метода Constructive Solid Geometry.

Проект 2. Симулятор эффектов специальной теории относительности

Разбиение на задания.

1. Построить и визуализировать 3D-модель некоторой тестовой территории: земля и на ней кубы, сферы, цилиндры и другие объекты.

При визуализации внести искажения, обусловленные преобразованиями Лоренца в зависимости от скорости наблюдателя.

- Использовать два вершинных атрибута: координаты вершин и цвет. Цвет можно назначить вершинам произвольно.

- Реализовать возможность перемещения виртуальной камеры на фиксированном расстоянии от поверхности земли.

2. Настроить освещение и текстурировать объекты сцены. Визуализировать эффект Доплера (цвет должен изменяться в зависимости от скорости движения наблюдателя).

3. Дополнительные эффекты

- Добавьте фоновый куб с кубической текстурой, движущиеся объекты в сцене
- Реализуйте deferred rendering
- Сделайте несколько движущихся источников света (фонарей)
- Сделайте на экране горизонтальную полосу для обозначения текущей скорости по сравнению со скоростью света. Размер полосы должен быть пропорционален скорости
- Доработайте ваши эффекты СТО в новых условиях

Билет.

1. Формы описания прямой и плоскости в пространствах 2D и 3D. Миграция между формами описания прямой и плоскости.

2. Перспективная проекция и перспективное преобразование. Матрицы перспективного преобразования и перспективного проецирования. Координаты несобственных точек и точек схода.

3. Построить матрицу поворота вокруг оси, проходящей через точку $A(a_1, a_2, a_3)$, имеющую направляющий вектор (l, m, n) единичной длины для 3D-пространства.

4. Система уравнений и схема алгоритма обратной трассировки конической поверхности

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - 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 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - 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 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Компьютерная графика» осуществляется в форме экзамена. Экзамен проводится в устной форме.

Каждый студент в течение семестра должен выполнить индивидуальный проект, который состоит из 3-х или 4-х заданий, завершающиеся программной реализацией.

Для программной реализации используется язык C++ и API OpenGL 3. Проект должен сопровождаться сборочным скриптом CMakeLists.txt.

Примеры проектов с разбиением на задания

Проект 1. Визуализация трехмерной поверхности, составленной из простых тел (полигональная поверхность, которая является результатом применения булевских операций).

Разбиение на задания.

1. Построить и визуализировать полигональную поверхность. Параметры: размеры и координаты центров куба и сферы, тип операции (пересечение, объединение, вычитание). Результат должен выводиться при любых значениях параметров. Использовать два вершинных атрибута: координаты вершин и цвет. Цвет можно назначить вершинам произвольно. Поддержать возможность управления камерой от клавиатуры для облета поверхности, приближения/удаления. По желанию можно вывести сетку. Для этого нужно отрисовать полигоны повторно с командами `glPolygonMode` и `glPolygonOffset`
2. Использовать несколько источников света :
 - Добавить освещение с бликами от 2х источников света одновременно. 1й - точечный источник, должен двигаться вокруг поверхности. 2й - на голове, который движется вместе с виртуальной камерой и светит конусом (spotlight)
 - Текстурировать полигональную поверхность.
3. Реализовать зеркало:
 - Разместить рядом с поверхностью зеркало в виде плоского 4-угольника.
 - С помощью рендеринга в текстуру выполнить «честное» отражение поверхности в зеркале в зависимости от положения камеры.
 - С помощью GUI или клавиатуры реализовать управление положением и ориентацией зеркала.
 - Дополнительно: можно реализовать отложенный рендеринг и добавить эффекты постобработки
4. Решить исходную задачу (булевские операции) с помощью метода Constructive Solid Geometry.

Проект 2. Симулятор эффектов специальной теории относительности

Разбиение на задания.

1. Построить и визуализировать 3D-модель некоторой тестовой территории: земля и на ней кубы, сферы, цилиндры и другие объекты.
При визуализации внести искажения, обусловленные преобразованиями Лоренца в зависимости от скорости наблюдателя.

- Использовать два вершинных атрибута: координаты вершин и цвет. Цвет можно назначить вершинам произвольно.
 - Реализовать возможность перемещения виртуальной камеры на фиксированном расстоянии от поверхности земли.
2. Настроить освещение и текстурировать объекты сцены. Визуализировать эффект Доплера (цвет должен изменяться в зависимости от скорости движения наблюдателя).
3. Дополнительные эффекты
- Добавьте фоновый куб с кубической текстурой, движущиеся объекты в сцене
 - Реализуйте deferred rendering
 - Сделайте несколько движущихся источников света (фонарей)
 - Сделайте на экране горизонтальную полосу для обозначения текущей скорости по сравнению со скоростью света. Размер полосы должен быть пропорционален скорости
 - Доработайте ваши эффекты СТО в новых условиях

Перечень контрольных вопросов:

1. Ортогональные преобразования на плоскости и в 3D-пространстве (элементарные преобразования и их матрицы, композиция преобразований и формирование их матриц).
2. Основные классы проекций на плоскость и связанные с ними матричные преобразования.
3. Аффинные и аффинно-проективные преобразования и их матрицы.
4. Понятие несобственной точки на плоскости и её координатное представление.
5. Перспективная проекция и перспективное преобразование. Координаты несобственных точек и точек схода.
6. Формы описания прямой и плоскости. Миграция между формами описания прямой и плоскости.
7. Определение поверхности. Способы задания поверхности. Понятия точки поверхности, носителя точки поверхности и носителя поверхности. Эквивалентные отображения замыкания плоской области в R^3 .
8. Неявная поверхность. Уравнения касательной плоскости и единичного вектора нормали для заданной точки неявной поверхности.
9. Задача восполнения поверхности. Подход к восполнению поверхностей. Триангуляция.
10. Сплайновые поверхности.
11. Триангуляция Делоне. Определение и основные свойства ТД.
12. Жадный алгоритм ТД и его свойства.
13. Диаграммы Вороного и ТД. Двойственность задачи ТД и ДВ.
14. Алгоритмы с предварительным упорядочиванием (плавающего горизонта, художника, сортировка граней с использованием BSP-деревьев).
15. Растеризация и её артефакты (для линий и границ областей).
16. Алгоритм Z-буфера. Его организация, достоинства и недостатки.
17. Алгоритм Брезенхема для отрезков прямых на дискретном растре.

18. Алгоритм обратной трассировки лучей, его организация, достоинства и недостатки.
19. Полный алгоритм обратной трассировки лучей. Световое дерево.
20. Подмножество алгоритма обратной трассировки (Ray-Casting).
21. Подходы к снижению вычислительной нагрузки в алгоритме обратной трассировки.
22. Использование алгоритма отсекаателя Сайруса-Бека на плоскости и в пространстве для формирования ограничивающих объемов.
23. Отсекатель Сайруса-Бека как 3D-примитив.
24. Расчёт глобальной освещённости.
25. Понятие BRDF. Модели BRDF. Вычисления и измерения BRDF.
26. BRDF и её приближённое вычисление на основе 3-х и 5-ти компонентной аддитивной функции.
27. Трассировка плоских областей.
28. Трассировка неплоских примитивов.
29. Составить систему уравнений и схему алгоритма обратной трассировки плоского кольца.
30. Составить систему уравнений и схему алгоритма обратной трассировки сплошной сферы.
31. Составить систему уравнений и схему алгоритма обратной трассировки конической поверхности.
32. Принципы организации CSG-операций в алгоритме обратной трассировки.
33. Понятие составной полиморфной поверхности (СПП) и организация алгоритма её трассировки.
34. Сопоставление СПП и триангулянта (с точки зрения описания поверхности и организации алгоритмов трассировки и Z-буфера).
35. Понятия и определения «бинокулярная визуализация», «стереоскопическая визуализация».
36. Строение камерного глаза. Редуцированная модель камерного глаза. Оптико-геометрическая модель анатомического отдела бинокулярной зрительной системы человека.
37. Бинокулярная зрительная система и бинокулярный интерфейс визуализации.
38. Наиболее сложные и нерешённые проблемы стереоскопической визуализации (конфликт аккомодации и вергенции, искажения при 2D-визуализации 3D-объектов, инверсия параллакса).
39. Иерархическая структура 3D-объекта, её формирование и использование.
40. Декомпозиции и формообразование 3D-объекта на основе структурного дерева.
41. Рекурсивный обход дерева структуры и формулы ортогональных преобразований для координатных фреймов узлов дерева.
42. Структура и кинематическая система 3D-объекта. Основные принципы использования структуры 3D-объекта для управления его формой.
43. Иерархические структуры с переменным отношением порядка.

44. Представление обычных связанных списков и связанных RTR-списков средствами UML.
45. Инкапсулируемые свойства связанных списков при описании поверхности 3D-объекта.
46. Виртуальный RTR-список и принципы построения алгоритма его обхода.
47. Особенности выполнения операций «склейка» и «разбиения» на RTR-деревьях.
48. Принципы построения интерфейса и реализаций операций «склейка» и «разбиения» на RTR-деревьях.
49. Паттерны моделирования операций «склейка» и «разбиения» на RTR-деревьях.
50. Особенности программной реализации ортогональных преобразований на RTR-деревьях при изменении связности графа 3D-сцены
51. Принципы построения программного интерфейса ортогональных преобразований на RTR-деревьях при изменении связности графа 3D-сцены
52. Модель взаимодействия «клиент-сервер» для системы визуализации.
53. Архитектура и топология распределённой системы 3D-визуализации.
54. Основные фазы моделирования и формирования изображения виртуальной среды в распределённой системе 3D-визуализации.
55. Основные проблемы, возникающие при использовании транспортного протокола UDP в распределённой системе 3D-визуализации.
56. Модели данных для описания состояния виртуальных 3D-объектов. Особенности моделей данных для транспортировки состояния объектов «над протоколами» UDP и TCP.
57. Понятие кадра состояния виртуального 3D-объекта, основные классы для описания поведения виртуальных 3D-объектов.
58. Принципы организации протокола прикладного уровня для распределённой системы визуализации
59. Понятие регулярных и нерегулярных 3D-объектов и описание состояния в контексте протокола прикладного уровня для распределённой системы 3D-визуализации.
60. Управление состоянием регулярных и нерегулярных 3D-объектов и особенности их рендеринга.

Примеры экзаменационных билетов из 4-х вопросов

В каждом билете содержатся по 4 вопроса, при ответе на которые учащийся должен показать знания соответствующих тем (разделов) программы курса. Один из вопросов может иметь форму задачи.

Билет.

1. Формы описания прямой и плоскости в пространствах 2D и 3D. Миграция между формами описания прямой и плоскости.

2. Перспективная проекция и перспективное преобразование. Матрицы перспективного преобразования и перспективного проецирования. Координаты несобственных точек и точек схода.

3. Построить матрицу поворота вокруг оси, проходящей через точку $A(a_1, a_2, a_3)$, имеющую направляющий вектор (l, m, n) единичной длины для 3D-пространства.

4. Система уравнений и схема алгоритма обратной трассировки конической поверхности.

4. Критерии оценивания.

Оценка	Баллы	Критерии
отлично	10	всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений;
	9	систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений;
	8	глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений;
хорошо	7	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;
	6	знает материал, грамотно излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;
	5	знает основной материал, грамотно излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач неточности;
удовлетворительно	4	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;
	3	характер знаний недостаточен для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;
неудовлетворительно	2	не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет правильно использовать полученные знания при решении типовых практических задач.
	1	не знает формулировок основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач.

5. Порядок проведения устного экзамена, особенности оценки выполненных заданий.

При проведении экзамена учитываются результаты зачета заданий проекта. Каждое не зачтённое задание заменяется дополнительным вопросом (например, если проект не зачтён полностью, суммарное число вопросов составляет $4+3 = 7$).

При проведении экзамена обучающемуся предоставляется до 60 минут на подготовку ответов на вопросы и/или решение задачи.

Опрос обучающегося по билету на экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины «Компьютерная графика».