**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компьютерная графика

Computer Graphics

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 003656

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Дисциплина «Компьютерная графика» направлена на формирование у обучающегося навыков работы с оцифрованными изображениями, геометрическими примитивами, алгоритмикой растеризации двухмерных и трехмерных сцен.

Подобные знания широко востребованы разных областях компьютерной науки, техники и промышленности, везде, где необходимо алгоритмически формировать изображения и обрабатывать большие объёмы геометрических данных. В частности, предполагаться что они помогут слушателям в трудоустройстве в коммерческие компании, а также принесут пользу в научной и исследовательской деятельности.

Материал дисциплины имеет не только прямое прикладное значение — он дидактически повторяет, подкрепляет и иллюстрирует классические концепции алгебры, математического анализа, компьютерных наук. Таким образом способствуя большей наглядности изложенного в них материала и лучшему его закреплению.

Курс, так же, пытается захватить смежные области знаний, такие как физиология восприятия, оптимизация ПО и аппаратного обеспечения, история развития вычислительных систем и т. п. Разумеется, подобные экскурсы носят более демонстрационный, рекламный, а не глубокий характер и призваны лишь расширять кругозор слушателей.

Отдельные параметры семестрового курса могут варьироваться по степени сложности в зависимости от уровня подготовки обучающихся.

Основным методологическим принципом построения программы курса является принцип поэтапного системного накопления знаний и формирования необходимых компетенций по модели: от простого и/или знакомого – к сложному и/или незнакомому, а основной методологической стратегией прохождения отдельных разделов программы является ступенчатость и цикличность, предусматривающие постепенный возврат к ранее усвоенному материалу на более высоком концептуальном уровне.

Цель изучения дисциплины: обучение основам анализа изображений; демонстрация сходств и отличий обработки изображений от обработки других сигналов; формирование навыка использования базовых приёмов обработки изображений; изучение имеющихся программных средств; умение проводить анализ полученных результатов и делать выводы.

**1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Программа курса предназначена обучающимся 3 курса бакалавриата и рассчитана на слушателей, изучавших основы математических дисциплин в объёме двух курсов бакалавриата. Слушатели курса должны быть знакомы с основами разработки и анализа алгоритмов, а также иметь базовые навыки программирования на языке программирования С/C++.

Максимальная эффективность программы будет обеспечена при условии, что обучающийся:

* Без затруднения может читать литературу на иностранном языке и усваивать материал самостоятельно.
* Свободно владеет понятиями и теоретическими основами линейной алгебры, математического анализа, теории вероятностей и математической статистики.

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Наименование категории (группы) компетенций | Код и наименование компетенции | Планируемые результаты обучения, обеспечивающие формирование компетенции | Код индикатора и индикатор достижения универсальной компетенции |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Общепрофессиональные компетенции | ОПК-1 – способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности | обучение основам физиологии зрительного восприятия; понимание сходств и отличий обработки изображений от обработки других сигналов; формирование навыка использования базовых приёмов обработки гомогенных данных на примере изображений; усвоение классических алгоритмов растеризации, вычислительной геометрии, формирования 3д изображений и примеров их применения; обзор имеющихся программных библиотек, являющихся открытыми стандартами де-факто; умение проводить анализ полученных результатов и делать выводы | ОПК-1.1 Уметь идентифицировать возможные проблемы и пути их решения |

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

Практические занятия в объёме 10 ак. ч.

**Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

**2.1. Организация учебных занятий**

**2.1.1 Основной курс**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины,  практики и т.п. | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа | | | | Объём активных и интерактивных  форм учебных занятий | Трудоёмкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторные работы | контрольные работы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам. раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  (сам.раб.) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 5 | 16 |  | 2 | 16 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 44 |  | 28 |  | 10 | 3 |
|  | 2-42 |  | 2-42 | 2-25 |  |  |  |  | 2-25 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 16 |  | 2 | 16 |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 44 |  | 28 |  |  | 3 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | |
| Семестр 5 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

Период обучения (модуль): семестр 5.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Количество часов |
| 1. | Введение | лекции | 2 |
| практические занятия | 2 |
| по методическим материалам | 6 |
| 2. | Растр и растеризация | лекции | 2 |
| практические занятия | 2 |
| по методическим материалам | 6 |
| 3. | Координаты, примитивы, преобразования | лекции | 2 |
| практические занятия | 2 |
| по методическим материалам | 6 |
| 4. | 3D графика в истории игр | лекции | 3 |
| практические занятия | 3 |
| по методическим материалам | 7 |
| 5. | Фотореалистичная графика | лекции | 3 |
| практические занятия | 3 |
| по методическим материалам | 7 |
| 6. | OpenGL | лекции | 2 |
| практические занятия | 2 |
| по методическим материалам | 6 |
| 7. | Шейдерная обработка | лекции | 2 |
| практические занятия | 2 |
| по методическим материалам | 6 |
| 8. | Промежуточная аттестация | консультации | 2 |
| самостоятельная работа | 28 |
| экзамен | 2 |

Модуль 1 «Введение»

1. История и области применения компьютерной графики.
2. Что такое цвет и свет. Восприятие цвета глазом, дальтонизм. Метамеры. Опыты CIE.
3. Цветовое пространство XYZ. Цветовой лепесток (свойства). Модель Lab, эллипс Мак-Адама.
4. Абсолютные и не абсолютные модели цвета. CMYK. Аддитивные и субстрактивные модели. Телевизионные цветовые модели. HSV, HLS.

Модуль 2 «Растр и растеризация»

1. Графические устройства (средства отображения, видеоадаптеры, шины, DMA). Синхронизация, мерцание.
2. Структура буфера кадра, видео страницы, представление пикселя.
3. Растеризация линии. Дифференциальный анализатор и целочисленный алгоритм Брезенхема.
4. Заливка (мотивация того, насколько нужна рекурсия).
5. Растеризация окружности. Растеризация эллипса.

Модуль 3 «Координаты, примитивы, преобразования»

1. Системы координат, примеры применения. Отрезки и линии (способы задания, поиски пересечений). Плоскости (способы задания, поиски пересечений).
2. Геометрический смысл векторного, тройственного (смешанного) и скалярного произведения. Аффинные преобразования на плоскости и в пространстве. Сдвиг, масштабирование.
3. Поворот. Вращение. Кватернионы (параметры Родриго-Гамильтона). Спектральная теорема. Вопросы эффективности разных представлений вращения.
4. Перенос и однородные координаты. Преобразование ко-пространств.
5. Проецирование определение, примеры. Свойства проективного преобразования. Фрустум.

Модуль 4 «3D графика в истории игр»

1. Алгоритм Сазерленда-Кохена. Алгоритм Кируса-Бека.
2. Иерархическое представление сцены.
3. Игра Wolf. Ray Casting на равномерной решетке.
4. Игра Doom. Основные идеи BSP. Построение картинки с использованием вывода Front-to-Back.
5. Стуктуры данных графических движков. PVS, BSP, QSP, OCT-Tree, Bounding volumes.
6. Алгоритм Z-buffer.
7. Текстурирование. MIP-mapping. Фильтрация текстур (линейная, билинейная, трилинейная). Фильтры lowpass, highpass. Звон и мотивация выбора фильтра Гаусса.

Модуль 5 «Фотореалистичная графика»

1. Идея алгоритма трассировки лучей. Прямая и обратная трассировка.
2. Геометрия отражения. Геометрия преломления. Поведение световой энергии в точке.
3. Модель диффузного и бликового освещения, закон Ламберта. Ослабление света в среде.
4. Пересечение луча со сферой. Быстрые тесты. Булевские операции над телами при трассировке лучей.
5. Недостатки алгоритма трассировки лучей. Алгоритм фотонных карт.
6. Шумовая функция. Шум Перлина. Турбулентность. 3D текстуры. Бампинг.
7. Эффект глубины резкости. Эффекты широкого динамического диапазона. HDR.

Модуль 6 «OpenGL»

1. Беглый обзор библиотек GDI, GTK+, системы XWindow, GAPI, Direct3D, OpenGL.
2. Идеология развития библиотеки OpenGL.
3. Буфера кадра, трафарета, глубины. Матрицы модели и матрицы проецирования. Стеки матриц.
4. Задание примитивов OpenGL, OpenGL как машина состояний.
5. Конвейер обработки примитивов. Закраски - одноцветная, Гуро и Фонга.
6. Идеи создания отражения в OpenGL. Глубина резкости в OpenGL.
7. Тени методом Shadow Volumes в OpenGL. Тени методом Shadow Mapping в OpenGL. Алиасниги и артефакты в алгоритме Shadow Mapping.

Модуль 7 «Шейдерная обработка»

1. Обоснование необходимости шейдеров. Место шейдеров на конвейере обработки графики. Эволюция шейдерных языков ARB\_\*\_program, Cg, GLSL.
2. Реализация загрузки, линковки, изменения параметров шейдеров. Типы и виды переменных. Доступные функции.
3. Идеи реализациии Фонга, Бампинга, 3D текстур на шейдерах.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Для освоения дисциплины обучающиеся должны посещать лекции и практические занятия, выполнять задания преподавателей.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

При самостоятельном изучении теоретического материала, выполнении практических заданий и во время подготовки доклада целесообразно использовать рекомендованную основную и дополнительную литературу.

**3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

Экзамен проводится в устной форме с учетом выполненных во время семестра задач. Билет состоит из двух вопросов, на подготовку ответа на которые даётся не менее одного академического часа (при подготовке можно пользоваться литературой). После ответа на вопросы билета преподаватель вправе задать дополнительные вопросы по любой теме из списка вопросов, вынесенных на экзамен. Количество и содержание дополнительных вопросов – на усмотрение преподавателя, принимающего экзамен. Пользоваться литературой при ответе на вопрос можно лишь с разрешения преподавателя. Время ожидания законченного ответа от обучающегося не должно существенно превышать 15 минут.

Дополнительно на оценку может оказывать влияние самостоятельной работы обучающегося во время курса над задачами, связанными с компьютерной графикой, которые выдаются в начале семестра желающим, реализуются обучающимися и сдаются путём написания кода на открытой и общедоступной платформе обмена исходным кодом (github, bitbucket, gitlab) в срок до даты экзамена.

Отдельные вопросы, известные обучающемуся с прошлых курсов и являющиеся основопологающими, выносятся в категорию обязательных для получения положительной оценки. В частности, за незнание базовых определений из вычислительной геометрии (например определение векторного произведения векторов) следует оценка итогового процента освоения курса в 0%.

Критерии оценки итогового процента освоения курса за ответ на зачёте:

Курс освоен на 100%, если выполняются оба условия:

1. обучающимся даны полные исчерпывающие ответы по всем вопросам билета, обучающийся свободно ориентируется в материале;
2. обучающийся отвечает на все дополнительные вопросы.

Курс освоен на 80%, если выполняются оба условия

1. обучающимся дан полный ответ на один из вопросов билета, по второму вопросу выявлены незначительные неточности или замечания;
2. обучающийся отвечает более чем на 5/6 дополнительных вопросов.

Курс освоен на 70%, если выполняются оба условия

1. обучающимся дан полный ответ на один из вопросов билета, по второму вопросу выявлены незначительные неточности или замечания;
2. обучающийся отвечает более чем на 3/4 дополнительных вопросов.

Курс освоен на 60%, если выполняются оба условия

1. по обоим вопросам даны основные тезисы, определения, взаимосвязи, примеры, однако в ответе имеются неточности и/или замечания;
2. обучающийся дает правильный ответ более чем на 2/3 заданных дополнительных вопросов.

Курс освоен на 50%, если выполняются оба условия

1. по обоим вопросам даны основные тезисы, определения, взаимосвязи, примеры, однако в ответе имеются неточности и/или замечания;
2. обучающийся дает правильный ответ более чем на половину заданных дополнительных вопросов.

В остальных случаях считается, что курс освоен на 0%.

Перевод в оценки делается по стандартной методике согласно приказу №7293/1 от 20.07.2018:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Итоговый процент выполнения, % | Оценка СПбГУ при проведении экзамена | Оценка ECTS |
| 0-49 | Неудовлетворительно | F |
| 50-60 | Удовлетворительно | E |
| 61-69 | Удовлетворительно | D |
| 70-79 | Хорошо | C |
| 80-89 | Хорошо | B |
| 90-100 | Отлично | A |

**3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

Примерный список вопросов к экзамену:

1. История и области применения компьютерной графики
2. Что такое цвет и свет
3. Восприятие цвета глазом, дальтонизм
4. Метамеры
5. Опыты CIE
6. Цветовое пространство XYZ
7. Цветовой лепесток (свойства)
8. Модель Lab, эллипс Мак-Адама
9. Абсолютные и не абсолютные модели цвета
10. CMYK (аддитивные и субстрактивные модели)
11. HSV, HLS - идеи построения
12. Графические устройства (средства отображения, видеоадаптеры, шины, DMA)
13. Структура буфера кадра, видео страницы, представление пикселя
14. Синхронизация, мерцание, [обратный ход луча]
15. Растеризация линии. Связность линии. Постановка задачи растеризации
16. Постановка задачи растеризации линии, представление линии, наивный алгоритм
17. Алгоритм (дифференциальный анализатор) и целочисленный алгоритм Брезенхема.
18. Возможные улучшения алгоритма Брезенхема (аппаратные моменты, альтернативные алгоритмы)
19. Заливка (мотивация того насколько нужна рекурсия)
20. Растеризация окружности
21. Растеризация эллипса
22. Системы координат, примеры применения
23. Отрезки и линии (способы задания, поиски пересечений)
24. Плоскости (способы задания, поиски пересечений)
25. Геометрический смысл векторного, тройственного (смешанного) и скалярного произведения
26. Расстояние между скрещивающимися прямыми
27. Аффинные преобразования на плоскости и в пространстве. Сдвиг, масштабирование
28. Поворот (вращение)
29. Перенос и однородные координаты
30. Как быстро попарно умножать вектора используя предпросчет
31. Преобразование нормали
32. Площадь многоугольника, вопросы ориентации контура, проверки выпуклости, принадлежности точки многоугольнику
33. Алгоритм разделяющей прямой [Проверка наличия пересечения выпуклых многогранников]
34. Кватернионы общие рассуждения
35. Умножение кватернионов, физический смысл [Сферическая интерполяция поворота]
36. Вопросы эффективности разных представлений вращения
37. Проецирование определение, примеры
38. Свойства проективного преобразования
39. Фрустум
40. Алгоритм Сазерленда-Кохена [Проблемы сопряжения Сазерленда-Кохена и Брезенхема]
41. Алгоритм Кируса-Бека
42. Замечания к алгоритму Кируса-Бека про многомерность и близкие алгоритмы
43. Игра Wolf. Ray Casting на равномерной решетке.
44. Игра Doom. Основные идеи BSP
45. BSP, QSP, OCT-Tree, Bounding volumes
46. Построение картинки в Doom с использованием вывода Front-to-Back
47. Вывод Front-to-Back, Back-to-Front, алгоритм художника, Z-buffer
48. Quake. PVS. Портальная техника
49. Текстурирование (определение, общие размышления)
50. Формулы текстурирования, нелинейность
51. MIP-mapping. Фильтрация текстур (линейная, билинейная, трилинейная)
52. Интегральный буфер
53. Иерархическое представление сцены.
54. Идея алгоритма трассировки лучей. Прямая и обратная трассировка
55. Геометрия отражения
56. Геометрия преломления
57. Поведение световой энергии в точке
58. Модель диффузного и бликового освещения закон Ламберта.
59. Ослабление света в среде
60. Пересечение луча со сферой. Быстрые тесты
61. Булевские операции над телами при трассировке лучей
62. Недостатки алгоритма трассировки лучей [Алгоритм фотонных карт]
63. Шумовая функция (шум Перлина), турбулентность.
64. 3D текстуры
65. Бампинг (бампмапы, [карты высот])
66. Эффект глубины резкости
67. Удаление ступенчатости (анти-алиасинг)
68. Эффекты широкого динамического диапазона. HDR
69. Ускорение трассировки BSP, Qtree, Oct-tree
70. Bounding Volumes, равномерное разбиение, замечания о кеше.
71. Идеология развития библиотеки OpenGL
72. Буфера кадра, трафарета, глубины. Матрицы модели и матрицы проецирования. Стеки матриц
73. Задание примитивов OpenGL, OpenGL как машина состояний.
74. Закраски - одноцветная, Гуро и Фонга
75. Конвейер обработки примитивов
76. Идеи создания отражения в OpenGL
77. Глубина резкости в OpenGL
78. Тени методом Shadow Volumes в OpenGL
79. Замечания (плюсы и минусы) алгоритма Shadow Volumes
80. Тени методом Shadow Mapping в OpenGL
81. Алиасниги и артефакты в алгоритме Shadow Mapping
82. Обоснование необходимости шейдеров
83. Место шейдеров на конвейере обработки графики
84. Реализация загрузки, линковки, изменения параметров шейдеров
85. Типы и виды переменных
86. Доступные функции
87. Идеи реализациии Фонга, Бампинга, 3D текстур на шейдерах
88. Фильтры lowpass, highpass. Звон и мотивация выбора фильтра Гаусса
89. Фильтры выделения вертикальных и горизонтальных границ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Код индикатора и индикатор достижения универсальной компетенции | Контрольно-измерительные материалы (КИМ) (тестовые вопросы, контрольные задания, кейсы и пр.) |
|  | 1 | 2 |
| 1 | ОПК-1.1 Уметь идентифицировать возможные проблемы и пути их решения | ответы на оба вопроса на экзамене, ответы на дополнительные вопросы и каждое задание самостоятельной работы независимо оцениваются по шкале от 0 (нет ответа/не сделано) до 10 (очень хорошо), далее оценка усредняется. Результат переводится в диапазон от 0 до 100. |

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса применяется анкетирование в соответствии с методикой и графиком, утвержденными в установленном порядке.

**3.2. Кадровое обеспечение**

**3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

К преподаванию дисциплины могут быть допущены преподаватели, имеющие диплом о высшем образовании по соответствующему направлению.

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Не требуется.

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные стандартным оборудованием, используемым для обучения в СПбГУ в соответствии с требованиями материально-технического обеспечения.

**3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

Стандартное оборудование, используемое для обучения в СПбГУ. MS Windows, MS Office, Mozilla FireFox, Google Chrome, Acrobat Reader DC, WinZip, Антивирус Касперского.

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Не требуется.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Не требуется.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Для аудиторий с маркерными досками необходимы стирающиеся маркеры в объёме, достаточном для проведения курса. Для аудиторий с меловыми досками необходим мел в объёме, достаточном для проведения курса. Канцелярские принадлежности в объёме, достаточном для проведения курса.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список литературы**

Не предусмотрен

**3.4.2 Перечень иных информационных источников**

Сайт Научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ: <http://www.library.spbu.ru/>

Электронный каталог Научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ: <http://www.library.spbu.ru/cgi-bin/irbis64r/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS>

Перечень электронных ресурсов, находящихся в доступе СПбГУ: <http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/>

Перечень ЭБС, на платформах которых представлены российские учебники, находящиеся в доступе СПбГУ: <http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse?name=rures&resource%20type=8>

**Раздел 4. Разработчики программы**

Пименов Александр Александрович, ст. преподаватель

с использованием материалов Вяткиной Киры Вадимовны, к.ф.-м.н., доцент, kira@math.spbu.ru