**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Алгоритмы компьютерного зрения

Computer Vision Algorithms

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 010055

Санкт-Петербург

2020

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Сформировать у обучающихся общее представление о задачах и методах компьютерного зрения как синтетической дисциплины, сочетающей элементы обработки сигналов и изображений, проективной геометрии, машинного обучения. Для каждой из областей дать указания источников для более полного изучения. Показать примеры решения базовых практических задач компьютерного зрения. Дать возможность проявить самостоятельное мышление и приобрести навыки индивидуальной разработки алгоритма в ходе выполнения проекта по компьютерному зрению. Роль проекта – продемонстрировать идею какого-либо технического подхода к решению выбранной обучающимся практической задачи.

Поставленные цели достигаются путём решения следующих задач курса: изложить вводный лекционный материал, сформулировать практические задания и консультировать обучающихся по их выполнению, содействовать выбору адекватной по сложности задачи для индивидуального проекта и консультировать обучающегося по мере его выполнения.

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

Знание основ теории сложности алгоритмов, дискретной математики, линейной алгебры, математического анализа в пределах бакалаврской подготовки.

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

В процессе изучения дисциплины «Алгоритмы компьютерного зрения» обучаемые приобретают следующие

знания:

* Основы цифровой обработки сигналов;
* Основы обработки изображений (улучшение качества и удаление шумов, устранение смазанности, выделение особенностей – точек, краев, составление дескрипторов точек типа SIFT, отслеживание точек на видео, вычисление стерео, оптического потока);
* Основы проективной геометрии (однокамерный, двух- и многокамерный случай);
* Основы машинного обучения в задачах компьютерного зрения.

умения:

* Программировать решения следующих задач компьютерного зрения с использованием Python и библиотеки OpenCV:
* Дискретизация, повышение и понижение разрешения двумерного сигнала (изображения).
* Работа с двумерным преобразованием Фурье изображения: фильтрация, поиск периодических составляющих изображения.
* Удаление шумов с изображения.
* Детектирование особенных точек и отслеживание точек на видео.
* Вычисление гомографии и перевод проекции плоскости из перспективной в ортографическую, вычисление линии горизонта.
* Определение существенной матрицы при двухкамерном отображении сцены.
* Ректификация изображения для стерео.
* Распознавание объектов на изображениях.

компетенции:

* ОПК-1 – способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности;
* ОПК-3 – способен применять современные информационные технологии, в том числе отечественные, при создании программных продуктов и программных комплексов различного назначения;
* ОПК-4 – способен участвовать в разработке технической документации программных продуктов и программных комплексов;
* ОПК-5 – способен инсталлировать и сопровождать программное обеспечение для информационных систем и баз данных, в том числе отечественного производства;
* ПКА-1 – способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, программирования и информационных технологий;
* ПКА-2 – способен учитывать знания проблем и тенденций развития рынка ПО в профессиональной деятельности;
* ПКП-1 – способность проводить под научным руководством исследование на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности;
* ПКП-2 – способен решать задачи в области развития науки, техники и технологии с учетом нормативного правового регулирования в сфере интеллектуальной собственности;
* ПКП-3 – способен преподавать математику и информатику в средней школе, специальных учебных заведениях на основе полученного фундаментального образования и научного мировоззрения;
* ПКП-5 – способен использовать основные методы и средства автоматизации проектирования, реализации, испытаний и оценки качества при создании конкурентоспособного программного продукта и программных комплексов, а также способен использовать методы и средства автоматизации, связанные с сопровождением, администрированием и модернизацией программных продуктов и программных комплексов;
* ПКП-6 – способен использовать знания направлений развития компьютеров с традиционной (нетрадиционной) архитектурой; современных системных программных средств: операционных систем, операционных и сетевых оболочек, сервисных программ; тенденции развития функций и архитектур проблемно-ориентированных программных систем и комплексов в профессиональной деятельности;
* ПКП-7 – способен использовать основные концептуальные положения функционального, логического, объектно-ориентированного и визуального направлений программирования, методы, способы и средства разработки программ в рамках этих направлений;
* ПКП-9 – способен принимать участие в управлении работами по созданию (модификации) и сопровождению ПО, программных систем и комплексов;
* УК-1 – способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;
* УК-2 – способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений;
* УКБ-3 – способен понимать сущность и значение информации в развитии общества, использовать основные методы получения и работы с информацией с учетом современных технологий цифровой экономики и информационной безопасности.

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

В качестве основных интерактивных форм (общее количество 4 ак. часа) предполагается проведение лекционных занятий, предполагающих активное обсуждение материала с преподавателем.

**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 8 | 24 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 57 |  | 23 |  | 4 | 3 |
|  | 2-100 |  | 2-100 |  |  |  |  |  | 2-100 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 24 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 57 |  | 23 |  |  | 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 8 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

**Базовый курс Основная траектория Очная форма обучения**

Период обучения: **Семестр 8**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п.п.** | **Наименование темы (раздела, части)** | **Вид учебных занятий** | **Кол-во часов** |
| 1 | Основы цифровой обработки сигналов | лекции | 6 |
| самостоятельная работа по методическим материалам | 14 |
| 2 | Основы обработки изображений | лекции | 6 |
| самостоятельная работа по методическим материалам | 14 |
| 3 | Основы проективной геометрии | лекции | 6 |
| самостоятельная работа по методическим материалам | 14 |
| 4 | Основы машинного обучения в задачах компьютерного зрения | лекции | 6 |
| самостоятельная работа по методическим материалам | 15 |
| 5 | Промежуточная аттестация | консультации | 2 |
| самостоятельная работа | 23 |
| экзамен | 2 |
| Итого | | | 108 |

1. Введение в обработку сигналов

Сигналы, линейные стационарные системы, импульсная характеристика, единичный импульс. Причинность, устойчивость. Амплитудно-частотная характеристика. Преобразование Фурье. Математическая модель процесса дискретизации сигнала. Наложение спектров и теорема Найквиста-Котельникова. Фильтр нижних частот. Фильтры с бесконечной импульсной характеристикой; с конечной импульсной характеристикой. Фильтрация двумерного сигнала.

1. Обработка изображений

Устройство камеры: угол обзора, фокусное расстояние, размер матрицы. Формирование изображений. Особенности зрения человека. Закон Вебера. Насыщенность и тон. Опыт и кривые Максвелла. Системы RGB, XYZ, YUV. Функции размытия точки и края. Box-фильтр и медианный фильтр. Оператор Лапласа. Способы повышения резкости. Оператор Собеля и дифференцирование оператора Гаусса. Улучшение качества изображений: фильтры Винера-Колмогорова, Гаусса, Ярославского, Анизотропный, Нелокальных средних, Block Matching 3D. Морфология: dilate, erode. Регистрация изображений. Функции стоимости: сумма квадратов разностей (SSD), взаимная информация, нормализованная корреляция. Метод Ньютона. Задача регистрации: трансформация координат и сопоставление. Пирамидальный подход. Особенные точки. Детекторы Харриса, Shi-Tomasi, разность гауссианов. Метод Лукаса-Канаде. Трекинг методом KLT. Фильтр Калмана для трекинга точки по видео в пространстве кадра. SIFT (Scale invariant Feature Transform) и производные методы описания особенностей. Детектор краев Канни, натуральная параметризация контура. Преобразование Хафа (Hough) для детекции контуров объектов. Метод RANSAC для детекции прямых линий в кадре. Метод mean shift для трекинга объекта по цвету. Стереосопоставление. Оптический поток. Марковское случайное поле (МСП). Формула Байеса применительно к модели МСП. Максимальный поток в графе.

1. Проективная геометрия

Трехмерная геометрия. Евклидово преобразование. Матрица поворота и ее параметризация с помощью оси и угла. Проективная камера. Однородные координаты и проективное пространство как фактор-множество. Матрица камеры. Внутренние и внешние параметры камеры. Дисторсия. Точки на бесконечности в проективных координатах. Изображение плоскости. Гомография (определение, пример – отображение из кадра в плоскость земли и обратно). Образ абсолютной коники и измерение углов между направлениями по проективному изображению. Определение положения камеры относительно точек с известными координатами по их проекциям. Вычислительные методы для гомографии и положения камеры: RANSAC, линейный метод, метод нелинейного выравнивания. Двухкамерная система: основные соотношения (фундаментальная и существенная матрицы). Вычисление существенной матрицы и определение матрицы камеры.

1. Машинное обучение

Машинное обучение как аппроксимация неизвестной функции. Обучение с учителем и без учителя. Неравенства Чебышева и Хефдинга (Бернштейна). Ошибка по выборке и вне выборки. Классификация и регрессия. Функция роста. Точка разрыва. Размерность Вапника-Червоненкиса. Баланс между высокой дисперсией и систематической ошибко й при обучении. Логистическая регрессия. Нейронные сети и «глубинное обучение» (deep learning). Проблема выбора модели для обучения. Машины опорных векторов. Каскад классификаторов.

Распознавание объектов на изображениях. Распознавание букв. Детекция лиц.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Успешное освоение дисциплины возможно благодаря посещению лекций, участию в обсуждении рассматриваемых вопросов, самостоятельной работе, включающей в себя решение домашних заданий-практикумов на основные темы курса и выполнение индивидуальных программных проектов по компьютерному зрению.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Самостоятельная работа обучающихся в рамках данной дисциплины является необходимым компонентом обучения, предусмотренным компетентностно-ориентированным учебным планом и рабочей программой дисциплины. Настоящей программой предусмотрены формы самостоятельной работы с использованием методических материалов по тематике курса и источников, указанных в обязательной, дополнительной литературе и интернет-источниках, указанных в данной программе. На сайте кафедры системного программирования находятся слайды лекций и задания практикумов для самостоятельного освоения.

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

Общая аттестация состоит из

• экзамена в конце курса (25% оценки)

• выполнения индивидуального проекта (25% оценки)

• выполнения доклада на выбранную преподавателем тему (20% оценки)

• выполнения домашних заданий-практикумов (30% оценки)

Оценки по каждому пункту выставляются по 5-балльной шкале и считается их взвешенная сумма, с весами, указанными выше. Итоговый процент освоения дисциплины определяется как отношение полученной таким образом оценки к максимально возможной оценке за курс, далее применяется следующая шкала выставления оценок:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Итоговый процент  выполнения, % | Оценка СПбГУ при  проведении экзамена | Оценка  ECTS |
| 90-100 | отлично | A |
| 80-89 | хорошо | B |
| 70-79 | хорошо | C |
| 61-69 | удовлетворительно | D |
| 50-60 | удовлетворительно | E |
| менее 50 | неудовлетворительно | F |

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

*Примерный краткий перечень вопросов к экзамену.*

1. Сигналы, линейные стационарные системы, импульсная характеристика, единичный импульс. Причинность, устойчивость.
2. Амплитудно-частотная характеристика. Преобразование Фурье.
3. Математическая модель процесса дискретизации сигнала. Наложение спектров и теорема Найквиста-Котельникова.
4. Фильтр нижних частот. Фильтры с бесконечной импульсной характеристикой; с конечной импульсной характеристикой. Фильтрация двумерного сигнала.
5. Устройство камеры: угол обзора, фокусное расстояние, размер матрицы. Формирование изображений.
6. Особенности зрения человека. Закон Вебера. Насыщенность и тон.
7. Опыт и кривые Максвелла. Системы RGB, XYZ, YUV.
8. Функции размытия точки и края.
9. Box-фильтр и медианный фильтр. Оператор Лапласа. Способы повышения резкости.
10. Оператор Собеля и дифференцирование оператора Гаусса.
11. Улучшение качества изображений: фильтр Винера-Колмогорова.
12. Фильтры Гаусса, Ярославского, Анизотропный, Нелокальных средних.
13. Фильтр Block Matching 3D.
14. Морфология: dilate, erode.
15. Регистрация изображений. Функции стоимости: сумма квадратов разностей (SSD), взаимная информация, нормализованная корреляция.
16. Метод Ньютона. Задача регистрации: трансформация координат и сопоставление.
17. Пирамиды изображений и пирамидальный подход к регистрации изображений.
18. Особенные точки. Детекторы Харриса, Shi-Tomasi, разность гауссианов.
19. Метод Лукаса-Канаде. Трекинг методом KLT.
20. Фильтр Калмана для трекинга точки по видео в пространстве кадра.
21. SIFT (Scale invariant Feature Transform) и производные методы описания особенностей.
22. Детектор краев Канни, натуральная параметризация контура.
23. Преобразование Хафа (Hough) для детекции контуров объектов.
24. Метод RANSAC для детекции прямых линий в кадре.
25. Метод mean shift для трекинга объекта по цвету. Стереосопоставление. Оптический поток.
26. Марковское случайное поле (МСП).
27. Формула Байеса применительно к модели МСП. Максимальный поток в графе.
28. Трехмерная геометрия. Евклидово преобразование. Матрица поворота и ее параметризация с помощью оси и угла.
29. Проективная камера. Однородные координаты и проективное пространство как фактор-множество.
30. Матрица камеры. Внутренние и внешние параметры камеры. Дисторсия.
31. Точки на бесконечности в проективных координатах.
32. Изображение плоскости.
33. Гомография (определение, пример – отображение из кадра в плоскость земли и обратно).
34. Образ абсолютной коники и измерение углов между направлениями по проективному изображению.
35. Определение положения камеры относительно точек с известными координатами по их проекциям.
36. Вычислительные методы для гомографии и положения камеры: RANSAC, линейный метод, метод нелинейного выравнивания.
37. Двухкамерная система: основные соотношения (фундаментальная и существенная матрицы).
38. Вычисление существенной матрицы и определение матрицы камеры.
39. Машинное обучение как аппроксимация неизвестной функции. Обучение с учителем и без учителя.
40. Неравенства Чебышева и Хефдинга (Бернштейна).
41. Ошибка по выборке и вне выборки.
42. Классификация и регрессия.
43. Функция роста. Точка разрыва.
44. Размерность Вапника-Червоненкиса.
45. Баланс между высокой дисперсией и систематической ошибкой при обучении.
46. Логистическая регрессия.
47. Нейронные сети и «глубинное обучение» (deep learning). Проблема выбора модели для обучения.
48. Машины опорных векторов.
49. Каскад классификаторов.
50. Распознавание объектов на изображениях.
51. Распознавание букв.
52. Детекция лиц.

**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 чтению лекций привлекаются преподаватели, имеющие базовое образование и/или ученую степень, соответствующую профилю преподаваемой дисциплины.

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

Возможна проверка заданий и оценка докладов ассистентом (магистром или аспирантом).

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

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

Стандартно оборудованные лекционные аудитории для проведения интерактивных лекций: видеопроектор, экран, др. оборудование.

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

Видеопроектор

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Преподаватель должен быть обеспечен личным компьютером и внешним запоминающим устройством для подготовки лекций и переноса содержания лекций на экран.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Стандартное программное обеспечение лекционного и личного компьютера.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Фломастеры цветные, губки, бумага формата А3 (для блокнота-доски), канцелярские товары в объеме, необходимом для организации и проведения занятий по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки, доступ преподавателя и обучающихся к в компьютерные классы, а также мел.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список обязательной литературы**

1. R. Szeliski. Computer Vision Algorithms and Applications. – ЭР по подписке СПбГУ: <https://find.library.spbu.ru/vufind/Record/978-1-84882-935-0>.
2. R. Hartley, A. Zisserman. Multiple View Geometry in Computer Vision. 2004, Cambridge University Press. – ЭР по подписке СПбГУ: <https://find.library.spbu.ru/vufind/Record/ocn171123855>.
3. Y. Abu-Mostafa, M. Magdon-Ismail, H.-T. Lin. Learning From Data, AML Book, 2021. – ЭР открытого доступа в сети Интернет: <https://tuxdoc.com/download/yaser-s-abu-mostafa-malik-magdon-ismail-hsuan-tien-lin-learning-from-data-a-shor_pdf>.
4. C. Bishop. Pattern Recognition and Machine Learning. 2006. – ЭР открытого доступа в сети Интернет: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/05/prml-web-sol-2009-09-08.pdf>.
5. A. Oppenheim. Discrete-time Signal Processing. 1989. – ЭР открытого доступа в сети Интернет: <http://bookre.org/reader?file=653792>.

**3.4.2 Список дополнительной литературы**

Не предусмотрен.

**3.4.3 Перечень иных информационных источников**

1. http://szeliski.org/Book/ Книга R. Szeliski. – ЭР открытого доступа в сети Интернет.
2. http://se.math.spbu.ru/SE/Members/avakhitov/kompyuternoe-zrenie-2014-4-kurs А. Вахитов. Материалы к лекциям по курсу «Компьютерное зрение» (презентации, задания). – ЭР открытого доступа в сети Интернет.

**Раздел 4. Разработчики программы**

Вахитов Александр Тимурович, доцент мат-мех факультета СПбГУ. a.vakhitov@spbu.ru, тел. 8-921-363-33-66.

Пименов Александр Александрович, старший преподаватель кафедры системного программирования. calvrack@gmail.com.