**Правительство Российской Федерации**

**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Алгоритмические основы робототехники

Algorithmic Foundations of Robotics

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 4

Регистрационный номер рабочей программы: 045268

Санкт-Петербург

2024

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Цель изучения дисциплины: ознакомление обучающихся с основными алгоритмами, используемыми в мобильной робототехнике; краткое знакомство с аппаратными робототехническими устройствами, видами мобильных платформ, сенсорами и актуаторами; физическими принципами их работы. Знакомство с используемыми в робототехнике алгоритмами управления движением, локализации, со способами представления данных о местоположении мобильного робота, алгоритмами планирования и навигации. Знания, полученные на этом курсе, могут быть переиспользованы при разработке различных киберфизических устройств или устройств, обладающих схожими с рассматриваемыми на курсе сенсорами, например, современных мобильных телефонов.

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

Программа курса предназначена для обучающихся 4 курса и рассчитана на слушателей, изучавших программирование (владеющих терминологией и имеющих практические навыки, включая основы разработки интерфейсов прикладных программ), алгоритмы и структуры данных, архитектуру ЭВМ, линейную алгебру и основы математического анализа.

Максимальная эффективность программы будет обеспечена при условии наличия у обучающихся навыков самостоятельного поиска информации и презентационных навыков.

**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 | Знание физических принципов работы сенсоров и актуаторов, используемых в современном оборудовании, киберфизических системах и устройствах «интернета вещей». | ОПК-1.1 Уметь идентифицировать возможные проблемы и пути их решения |
| 2 | Общепрофессиональные компетенции | ОПК-2 Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и программных средств, в том числе отечественного производства, и использовать их при решении задач профессиональной деятельности | Знание физических принципов работы сенсоров и актуаторов, используемых в современном оборудовании, киберфизических системах и устройствах «интернета вещей». | ОПК-2.2 Уметь проводить формализацию и алгоритмизацию поставленных задач |
| 3 | Профессиональные компетенции | ПКП-1 – способен проектировать программные системы | Представление о типичных архитектурах киберфизических систем | ПКП-1.1 Уметь разрабатывать технические спецификации на программные компоненты и их взаимодействие |
| 4 | Профессиональные компетенции | ПКП-2 – способен использовать основные модели информационных технологий и способы их применения для решения задач в предметных областях | Представление о типичных архитектурах киберфизических систем | ПКП-2.1 Уметь описывать алгоритмы компонентов, включая методы и схемы |
| 5 | Профессиональные компетенции | ПКП-3 – способен разрабатывать моделирующие алгоритмы и реализации их на базе языков и пакетов прикладных программ моделирования | Владение современными алгоритмами управления, обработки сенсорных данных, навигации и планирования | ПКП-3.1 Разработка модели бизнес-процессов заказчика |
| 6 | Профессиональные компетенции | ПКП-7 – способен систематизировать и применять знания о содержании основных этапов и тенденций развития программирования, математического обеспечения и информационных технологий | Понимание разнообразия существующих решений в области мобильной робототехники, понимание их достоинств и недостатков | ПКП-7.2 Оценка и выбор архитектуры развертывания каждого компонента |

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

Активные формы учебных занятий — доклады (10 ак. часов).

**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 | 60 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 57 |  | 23 |  | 10 | 4 |
|  | 2-30 |  | 2-30 |  |  |  |  |  | 2-30 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 60 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 57 |  | 23 |  | 10 | 4 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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**

Курс проводится в виде набора докладов, делаемых самими обучающимися по предоставленным им преподавателем материалам. Доклады в основном делаются по книге [1] из списка обязательной литературы и покрывают следующие темы:

1. Введение.

Что такое робототехника? Робототехника как научная дисциплина, практическое значение робототехники, история, примеры.

1. Обзор тем секций и наиболее цитируемых работ с крупных робототехнических конференций (ICRA, IROS, «Экстремальная робототехника»).
2. Робототехнические платформы

Аппаратная часть (Arduino, Siemens, NI и т.д.), программная часть (ROS и подобные)

1. Кинематика мобильных роботов

Системы координат, кинематические модели и ограничения, степени свободы, разные виды колёс, разные конфигурации тележек

1. Сенсорика мобильных роботов

Типы сенсоров (пассивные, активные, proprioceptive, exteroceptive), точность измерения и ошибка (систематическая, случайная), представления погрешности измерений, распространение ошибки. Виды сенсоров, физические принципы их работы, принципиальные достоинства и недостатки.

1. Сенсоры, основанные на техническом зрении, и связанные алгоритмы

Физическое устройство видеокамер, depth from focus, стереозрение, ZLoG, оптический поток, выделение цветных объектов.

1. Feature Extraction

Основные понятия (что это, зачем, и когда что применять), извлечение прямых линий по данным дальнометрии, сегментация, геометрические характеристики. Визуальные характеристики, препроцессирование (LoG и дискретное ядро), выделение границ (Canny), градиентный метод, выделение прямых линий (Hough transform), выделение плоскости пола, полнокартиночные характеристики (гистограмма, image fingerprint)

1. Локализация

Общая схема локализации, трудности, матмодель погрешности одометрической локализации, behavior-driven алгоритмы, belief representation (одна гипотеза, много гипотез), представление карты (непрерывное, дискретное с точной декомпозицией, с фиксированной и адаптивной сеткой, топологическое представление). Локализация: марковская локализация (общая теория, Dervish, Rhino), локализация на фильтре Калмана (сам фильтр и связанная с ним математическая теория, применение в задаче локализации, case study: Pygmalion), другие принципы локализации (по ориентирам, по маякам, Route-based localization)

1. Планирование и навигация

Алгоритмы построения маршрута робота, алгоритмы обхода препятствий, архитектуры систем навигации.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

Успешное освоение дисциплины возможно благодаря посещению занятий и самостоятельной работе, включающей в себя чтение специальной литературы по разделам программы.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Основная и дополнительная литература, темы докладов.

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

Контроль успеваемости обучающихся осуществляется посредством проводимого в конце семестра устного экзамена.

*Методика проведения экзамена*

Экзамен проводится в устной форме. Оценка за курс складывается из:

* оценки за ответы на вопросы на экзамене;
* оценки за доклад, сделанный в течение семестра.

Доклад оценивается по шкале от 0 (доклад не выполнен) до 5 (обучающимся подготовлено и представлено выступление со слайдами примерно на 45 минут, развёрнуто раскрывающее выбранную им тему). В случае, если обучающийся по тем или иным причинам не смог выступить с докладом перед аудиторией, на усмотрение преподавателя доклад может быть заменён на реферат, оценивающийся также по шкале от 0 до 5, где 0 означает невыполненный или крайне слабый реферат, 5 — реферат, развёрнуто раскрывающий выбранную тему.

На экзамене отвечающему предлагается без подготовки ответить на два вопроса из списка вопросов, публикующегося заранее. Преподаватель вправе задавать уточняющие вопросы. Каждый ответ оценивается по шкале от 0 (нет ответа) до 5 (очень хороший ответ), результирующая оценка получается следующим образом:

1. В случае, если на хотя бы один из вопросов ответ неудовлетворителен, за курс выставляется оценка «неудовлетворительно» (ECTS F).
2. Оценки за ответы на вопросы складываются.
3. К полученной оценке прибавляется оценка за доклад.
4. Итоговый процент освоения дисциплины рассчитывается по формуле MAX(0, <сумма оценок> - 5) \* 10.
5. Далее применяется стандартная для СПбГУ шкала оценивания:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 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 |

Экзамен допустимо проводить в дистанционном формате с использованием информационно-коммуникационных технологий.

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

*Пример списка вопросов для устного экзамена:*

1. Робототехника как научная дисциплина.
2. Робототехника как практическая дисциплина, примеры используемых робототехнических устройств.
3. История робототехники.
4. Обзор аппаратных робототехнических платформ (Arduino, Siemens, NI).
5. Обзор robotic middleware (ROS и подобные системы).
6. Системы координат, кинематические модели мобильных роботов, степени свободы, голономность.
7. Типы механизмов движения, их достоинства и недостатки, ходячие роботы.
8. Колёсные роботы, конфигурации колёс, их достоинства и недостатки.
9. Кинематическая модель трёхколёсного робота с дифференциальным управлением, кинематика разных видов колёс.
10. Управление движением.
11. Типы сенсоров (пассивные, активные, proprioceptive, exteroceptive). Виды сенсоров, физические принципы их работы, принципиальные достоинства и недостатки.
12. Точность измерения и ошибка (систематическая, случайная), представления погрешности измерений, распространение ошибки.
13. Физическое устройство видеокамер.
14. depth from focus, стереозрение.
15. ZLoG, оптический поток, выделение цветных объектов.
16. Feature Extraction, основные понятия и применимость.
17. Извлечение прямых линий по данным дальнометрии, сегментация, геометрические характеристики.
18. Визуальные характеристики, препроцессирование (LoG и дискретное ядро).
19. Выделение границ (Canny), градиентный метод, выделение прямых линий (Hough transform)
20. Выделение плоскости пола, полнокартиночные характеристики (гистограмма, image fingerprint)
21. Локализация: общая схема, трудности, модель ошибки одометрии.
22. Поведенческая модель как альтернатива локализации.
23. Представление гипотезы о позиции робота.
24. Представление карты (непрерывное, дискретное с точной декомпозицией, с фиксированной и адаптивной сеткой, топологическое представление).
25. Марковская локализация (общая теория, Dervish, Rhino).
26. Локализация на фильтре Калмана.
27. Другие принципы локализации (по ориентирам, по маякам, Route-based localization)
28. Планирование пути
29. Алгоритмы обхода препятствий
30. Архитектуры систем навигации

*Примеры тем докладов:*

1. Что такое робототехника? Вводная, главные результаты науки.
2. Робототехнические платформы, hardware (Arduino, Siemens, NI, ...).
3. Робототехнические платформы, software (ROS, ...).
4. Обзор тем секций и наиболее цитируемых статей ICRA 2023 и 2022 годов
5. Обзор тем секций и наиболее цитируемых статей IROS 2023 и 2022 годов
6. Обзор остальных конференций: «Экстремальная робототехника» и т.д.
7. Типы механизмов движения, достоинства и недостатки, ходячие роботы
8. Колёсные роботы, виды колёс, конфигурации колёс, достоинства и недостатки
9. Кинематическая модель трёхколёсного робота с дифференциальным управлением, кинематика разных видов колёс
10. Степень мобильности, степень управляемости и степень маневренности робота, степени свободы, голономность
11. Управление движением
12. Локализация: общая схема, трудности, модель ошибки одометрии
13. Поведенческая модель как альтернатива локализации, представление гипотезы о позиции робота
14. Представление карты
15. Марковская локализация
16. Локализация на основе фильтра Калмана
17. Другие способы локализации
18. Автономное построение карты
19. Планирование пути
20. Алгоритмы обхода препятствий
21. Архитектуры систем навигации

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | 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 | Вопросы к устному экзамену, темы докладов |
| 2 | ОПК-2.2 Уметь проводить формализацию и алгоритмизацию поставленных задач | Вопросы к устному экзамену, темы докладов |
| 3 | ПКП-1.1 Уметь разрабатывать технические спецификации на программные компоненты и их взаимодействие | Темы докладов |
| 4 | ПКП-2.1 Уметь описывать алгоритмы компонентов, включая методы и схемы | Вопросы к устному экзамену, темы докладов |
| 5 | ПКП-3.1 Разработка модели бизнес-процессов заказчика | Вопросы к устному экзамену, темы докладов |
| 6 | ПКП-7.2 Оценка и выбор архитектуры развертывания каждого компонента | Вопросы к устному экзамену, темы докладов |

**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**

Специальных требований нет.

**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**

Специальных требований нет.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Специальных требований нет.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Специальных требований нет.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список литературы**

1. R. Siegwart, I. R. Nourbakhsh. Introduction to Autonomous Mobile Robots. – Massachusetts Institute of Technology. – 2004. – 321 pp. – **ЭР по подписке СПбГУ:**

**<https://find.library.spbu.ru/vufind/Record/ocm57183825>**

**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**

Кириленко Яков Александрович, старший преподаватель кафедры системного программирования, [y.kirilenko@spbu.ru](mailto:y.kirilenko@spbu.ru)

Литвинов Юрий Викторович, к.т.н., старший преподаватель кафедры системного программирования, [y.litvinov@spbu.ru](mailto:y.litvinov@spbu.ru)