ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**УТВЕРЖДЕНА**

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«24» июня 2025 г.
Протокол №2

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**
**«Робототехника и физическое машинное обучение»**

**Направление подготовки:** *02.03.01 Математика и компьютерные науки*

**Направленность (профиль) подготовки:** *Искусственный интеллект*

**Квалификация (степень) выпускника:** *бакалавр*

**Форма обучения:** *очная*

**Срок освоения программы:** *4 года*

**Год набора:** *2025*

**Москва**
**2025**

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 0215B0C000D1B3FEB44A37EE631E0C27D4
Владелец: Ивашкевич Евгений Васильевич
Действителен: с 13.01.2026 до 13.04.2027

Электронный документ

**Содержание**

1. **Краткая характеристика дисциплины (модуля)** ..... 3
2. **Перечень планируемых результатов обучения** ..... 5
3. **Тематический план** ..... 7
4. **Содержание дисциплины (модуля)** ..... 7
5. **Учебно-методическое обеспечение** ..... 9
6. **Материально-техническое обеспечение** ..... 9
7. **Методические и оценочные материалы** ..... 11

## 1. Краткая характеристика дисциплины (модуля)

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Робототехника и физическое машинное обучение» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Искусственный интеллект», утвержденный приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 807 от 23.08.2017 года.

Изучение дисциплины (модуля) «Робототехника и физическое машинное обучение» формирует ключевые компетенции для разработки автономных систем, способных воспринимать среду, принимать решения и выполнять сложные физические задачи. Полученные знания и навыки позволяют эффективно интегрировать современные методы искусственного интеллекта в реальные робототехнические платформы, что критически важно для развития индустрии, логистики, медицины и автономного транспорта.

**Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Настоящая дисциплина (модуль) включена в учебный план по программе подготовки бакалавриата по направлению 02.03.01 «Математика и компьютерные науки», профиль «Искусственный интеллект» и входит в вариативную часть Блока 1, формируемую участниками образовательных отношений, как дисциплина по выбору.

Дисциплина (модуль) изучается на 4 курсе в 7 семестре на выбор. Доступна к изучению после успешного освоения дисциплин (модулей): «Обучение с подкреплением», «Теория управления».

**Цель изучения дисциплины (модуля):** сформировать комплексное понимание архитектуры робототехнических систем и развить практические навыки интеграции физического моделирования, восприятия, планирования и машинного обучения для создания автономных роботов.

**Задачи изучения дисциплины (модуля)**:

— изучить архитектуру робототехнических систем, математические модели кинематики и динамики, а также принципы работы сенсоров и актуаторов;

— освоить методы восприятия и оценки состояния, включая слэм, фильтры калмана и современные подходы компьютерного зрения для локализации и картографирования;

— научиться применять классические и сэмплированные алгоритмы планирования пути и траекторий с учётом физических ограничений робота;

— изучить стратегии управления, а также формализм обучения с подкреплением и архитектуры глубокого rl;

— освоить методы переноса моделей с симуляции на реальные роботы, включая рандомизацию домена и использование фундаментальных моделей в контурах управления.

**В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:**

***знать:***

— архитектуру робототехнических систем, математические модели кинематики и динамики, принципы работы сенсоров и актуаторов;

— методы восприятия и оценки состояния: slam, фильтры калмана, современные подходы компьютерного зрения для роботов;

— классические и основанные на выборке (сэмплировании) алгоритмы планирования пути и траекторий;

— базовые стратегии управления (pid, computed torque, mpc);

— формализм обучения с подкреплением (mdp, q learning, policy gradient) и архитектуры глубокого rl (sac, a3c);

— суть проблемы переноса с симуляции на реальный робот (sim to real) и основные способы её решения (рандомизация домена (domain randomization), идентификация системы).

***уметь:***

— моделировать робота в физическом симуляторе, решать прямую и обратную кинематику, задавать динамические сцены;

— строить конвейер восприятия с использованием rgb камер и лидаров, реализовывать локализацию и картографирование;

— программировать алгоритмы планирования пути (a*, rrt) и траекторий с учётом ограничений;

— обучать политики глубокого обучения с подкреплением (deep rl) для задач робототехнического управления в симуляторах, применять приёмы ускорения и стабилизации обучения;

— переносить обученные политики с симуляции на реальное оборудование, используя техники рандомизации домена;

— использовать современный стек инструментов: pytorch/tensorflow, stable baselines3, gym/mujoco, ros/ros2;

— проектировать и демонстрировать сквозные системы «восприятие – планирование – действие» с элементами машинного обучения.

***владеть:***

— навыками работы в ros/ros2: публикация/подписка на топики, работа с tf, интеграция сенсоров и контроллеров;

— инструментарием физических симуляторов (mujoco, isaac gym, gazebo) для обучения и отладки алгоритмов;

— техниками реализации и настройки (тюнинга) алгоритмов глубокого обучения с подкреплением с использованием pytorch и stable baselines3;

— методиками сбора и разметки демонстрационных данных для имитационного обучения;

— приёмами анализа разрыва (sim to real зазора) и практическими протоколами его сокращения;

— опытом интеграции предобученных фундаментальных моделей (foundation моделей: vl моделей, llm) в контуры управления роботом.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) при проведении учебных занятий в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками Университета и в форме самостоятельной работы обучающихся:

| Компетенция | Содержание компетенции | Индикатор компетенции | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) |
|---|---|---|---|
| УК-1. | Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач | УК-1.1. | Знает методы поиска и анализа информации в области искусственного интеллекта, основные принципы критической оценки источников информации и их релевантности. |
| | | УК-1.2. | Умеет критически оценивать источники информации и синтезировать данные из различных источников для решения задач, применять системный подход к анализу и решению комплексных проблем |
| | | УК-1.3. | Имеет практический опыт работы с современными инструментами и технологиями для обработки информации, формулировании и структурировании задач на основе полученной информации |
| 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 | УК-2.1. | Знает действующие правовые нормы, регулирующие деятельность в области решения задач, основные методы и подходы к определению круга задач |
| | | УК-2.2. | Умеет определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения задач, учитывая имеющиеся ресурсы и ограничения |
| | | УК-2.3. | Имеет практический опыт применения знаний о правовых нормах и ресурсах в реальных ситуациях, разработки и реализации решений в соответствии с установленными ограничениями |
| ОПК-1. | Способен находить, формулировать и решать актуальные и значимые проблемы прикладной и компьютерной математики | ОПК-1.1. | Знает основные методы и подходы к решению задач прикладной и компьютерной математики, включая алгоритмы, математическое моделирование и теорию оптимизации, а также современные инструменты и технологии, используемые в этой области |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | ОПК-1.2. | Умеет анализировать и формулировать математические задачи, применять соответствующие методы и алгоритмы для их решения, а также интерпретировать и представлять результаты в понятной и доступной форме |
| | | ОПК-1.3. | Имеет практический опыт работы над проектами или исследованиями в области прикладной и компьютерной математики, включая участие в конкурсах, олимпиадах или научных публикациях, где были решены актуальные и значимые задачи |
| ПК-1. | Способен формулировать задачи с математической точностью, обосновывать утверждения строго и анализировать полученные результаты в области математики и компьютерных наук | ПК-1.1. | Знает методы и подходы к формулированию задач, а также основные принципы математического доказательства и анализа результатов. |
| | | ПК-1.2. | Умеет корректно ставить и формулировать математические задачи, применять строгие методы доказательства и анализировать полученные результаты. |
| | | ПК-1.3. | Имеет опыт работы с задачами в области математики и компьютерных наук, включая применение математических методов для решения практических задач |
| ПК-2. | Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности в области искусственного интеллекта, опираясь на информационную и библиографическую культуру, используя информационно-коммуникационные технологии и учитывая основные требования информационной безопасности | ПК-2.1. | Знает основы информационной и библиографической культуры, а также принципы информационной безопасности и применения информационно-коммуникационных технологий в профессиональной деятельности |
| | | ПК-2.2. | Умеет эффективно использовать информационно-коммуникационные технологии для решения стандартных задач профессиональной деятельности, учитывая требования информационной безопасности |
| | | ПК-2.3. | Имеет опыт работы с информационными ресурсами и технологиями в области искусственного интеллекта, включая соблюдение норм информационной безопасности |

## 3. Тематический план

| №п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля) | Трудоемкость, академические часы | | | | ТКУ (текущий контроль успеваемости) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Очная форма* | | | | |
| | | Аудиторная работа | | Контроль | Самостоятельная работа | |
| | | Лекции | Семинары | | | |
| 1 | Введение в робототехнику и физическое моделирование | 6 | 6 | | 26 | Домашнее задание Контест |
| 2 | Восприятие и оценка состояния в робототехнике | 8 | 8 | | 34 | Домашнее задание Контест |
| 3 | Планирование движения и управление | 6 | 6 | | 26 | Домашнее задание Контест |
| 4 | Обучение с подкреплением для физических роботов | 10 | 10 | | 42 | Домашнее задание Контест |
| | ***Зачёт с оценкой*** | | | 2 | | Проект |
| | ***Итого:*** | ***30*** | ***30*** | ***2*** | ***128*** | |
| ***Объем дисциплины (модуля) (в ак. ч.)*** | | ***190*** | | | | |
| ***Объем дисциплины (модуля) (в зач. ед.)*** | | ***5*** | | | | |

## 4. Содержание дисциплины (модуля)

| №п/п | Наименование раздела дисциплины (модуля) | Содержание дисциплины (модуля) по темам |
|---|---|---|
| 1 | Введение в робототехнику и физическое моделирование | Архитектура робототехнических систем: сенсоры, актуаторы, вычислительные платформы. Степени свободы, рабочее пространство, ключевые примеры современных роботов.<br>Прямая и обратная кинематика: представление Денавита–Хартенберга, геометрические методы, якобиан манипулятора.<br>Динамика роботов: уравнения Лагранжа и Ньютона–Эйлера. Основы физического моделирования в симуляторах (MuJoCo, PyBullet). Идентификация параметров динамической системы |
| 2 | Восприятие и оценка состояния в робототехнике | Сенсорное восприятие: камеры, лидары, RGB-D сенсоры. Калибровка, синхронизация. Базовые операции обработки изображений и выделение признаков.<br>Локализация и картографирование (SLAM): EKF-SLAM, FastSLAM, SLAM, основанный на графах. Визуальный SLAM.<br>Оценка состояния: фильтр Калмана (линейный, расширенный). Байесовские фильтры для отслеживания объектов.<br>Компьютерное зрение для роботов: детекция и сегментация объектов (YOLO, Mask R-CNN), оценка 6D-позы, элементы 3D-реконструкции |

| | | |
|---|---|---|
| 3 | Планирование движения и управление | Планирование пути: алгоритмы на графах (A*, Дейкстра), RRT, PRM. Учёт препятствий и кинематических ограничений.<br>Планирование траекторий: сплайны, оптимизационные подходы (CHOMP, TrajOpt). Учёт динамических ограничений.<br>Управление движением: PID-регуляторы. Введение в модельно-прогнозирующее управление (MPC) для манипуляторов и мобильных платформ |
| 4 | Обучение с подкреплением для физических роботов | Глубокое RL в непрерывных пространствах: DQN, Актор-критик (A3C, SAC). Особенности применения в робототехнических задачах.<br>Обучение в симуляции: среды OpenAI Gym, MuJoCo, Isaac Gym. Параллельное обучение, асинхронное взаимодействие.<br>Проблема переноса симуляции в реальный мир: стохастическое варьирование предметной области (domain randomization), адаптация предметной области (domain adaptation), расширение данных (аугментация). Инвариантные представления и идентификация симулятора.<br>Безопасное RL и обучение на реальном роботе: ограничения, методы, основанные на модели мира |

## 5. Учебно-методическое обеспечение

Университет располагает полным набором лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, включая продукты отечественного производства.

Каждый студент в течение всего периода обучения получает индивидуальный неограниченный доступ к электронно-библиотечной системе и электронной информационно-образовательной среде университета. Эти системы предоставляют возможность доступа к ресурсам из любой точки, где есть подключение к сети Интернет, как на территории университета, так и за его пределами.

Студентам обеспечен удаленный доступ к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам.

***Основная литература:***

1. Иванов, А. А. Основы робототехники : учебное пособие / А.А. Иванов. — 2-е изд., испр. — Москва : ИНФРА-М, 2026. — 223 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-014622-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2213291.

2. Киселев, М. М. Робототехника в примерах и задачах : учебное пособие / М. М. Киселев. - 2-е изд., исправленное. - Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2022. - 132 с. - ISBN 978-5-91359-326-9. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2185099.

***Дополнительная литература:***

1. Мехатроника и робототехника : учебное пособие / И. А. Несмиянов, А. Г. Иванов, А. С. Матвеев, Н. С. Воробьева. - Волгоград : ФГБОУ ВО Волгоградский государственный аграрный университет, 2024. - 88 с. - ISBN 978-5-4479-0475-3. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.ru/catalog/product/2228672.

## 6. Материально-техническое обеспечение

Университет располагает материально-технической базой, соответствующей действующим противопожарным правилам и нормам и обеспечивающей проведение всех видов дисциплинарной и междисциплинарной подготовки, практической и научно-исследовательской работ обучающихся, предусмотренных учебным планом.

Помещения, которые представляют собой учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского (практического) типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Изучение дисциплины (модуля) обеспечивается в учебных аудиториях, оснащенных:

- столами и стульями;
- компьютерной техникой;
- механическими калькуляторами;
- специализированным оборудованием, включая демонстрационное оборудование.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, в том числе приспособленные для использования инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья, оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

Обучающимся предоставляется доступ (в том числе удаленный) к ресурсам информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», электронным ресурсам (в том числе электронным библиотечным системам, современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам):

| № | Наименование портала (издания, курса, документа) | Ссылка |
|---|---|---|
| 1. | Научная электронная библиотека elibrary.ru библиотека | https://elibrary.ru/defaultx.asp |
| 2. | База данных для IT-специалистов | https://habr.com |
| 3. | База данных ScienceDirect | https://www.sciencedirect.com |
| 4. | Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации | https://minobrnauki.gov.ru/ |
| 5. | Федеральный портал «Российское образование" | https://www.edu.ru/ |
| 6. | Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" | http://window.edu.ru/ |
| 7. | Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов | http://school-collection.edu.ru/ |
| 8. | Федеральный центр информационно - образовательных ресурсов | http://fcior.edu.ru/ |

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), в том числе комплект лицензионного программного обеспечения, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

| Наименование ПО | Производство | Лицензионное / свободно распространяемое |
|---|---|---|
| **Операционные системы:** | | |
| Microsoft Imagine (Windows Client, Server) | зарубежное | лицензионное |
| **Браузеры:** | | |
| Яндекс.Браузер | отечественное | свободно распространяемое |
| Google Chrome | зарубежное | свободно распространяемое |
| **Офисные приложения:** | | |
| Microsoft Imagine (Visio, OneNote) | зарубежное | лицензионное |
| TeXstudio | зарубежное | свободно распространяемое |
| Adobe Acrobat Reader | зарубежное | свободно распространяемое |
| **Программное обеспечение для планирования и учета времени:** | | |
| Toggle app | зарубежное | свободно распространяемое |
| **Системы управления проектами:** | | |
| Microsoft Imagine (Project) | зарубежное | лицензионное |
| **Системы управления базами данных:** | | |
| Microsoft Imagine (SQL Server) | зарубежное | лицензионное |
| **Системы резервного копирования (backup):** | | |
| Acronis Backup Advanced for HyperV | зарубежное | лицензионное |
| **Справочно-правовые системы:** | | |
| КонсультантПлюс: справочно-правовая система | отечественное | лицензионное |
| **Средства антивирусной защиты:** | | |
| Kaspersky Endpoint Security для бизнеса Стандартный Russian Edition | отечественное | лицензионное |
| **Среды разработки:** | | |
| Visual Studio Code | зарубежное | свободно распространяемое |
| Bash (Unix shell) | зарубежное | свободно распространяемое |

| | | |
|---|---|---|
| Anaconda | зарубежное | свободно распространяемое |
| Robotic Operating System | зарубежное | свободно распространяемое |
| CopelliaSim | зарубежное | свободно распространяемое |
| Google Colaboratory | зарубежное | свободно распространяемое |
| **Пакеты программных средств и библиотек:** | | |
| AutoPsy | зарубежное | свободно распространяемое |
| Interactive Disassembler (IDA) | зарубежное | свободно распространяемое |
| **Системы управления библиографической информацией:** | | |
| Zotero | зарубежное | свободно распространяемое |
| **Сервисы и службы:** | | |
| Bind | зарубежное | свободно распространяемое |
| Docker | зарубежное | свободно распространяемое |

## 7. Методические и оценочные материалы

### Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

В процессе изучения дисциплины (модуля) «Робототехника и физическое машинное обучение» в рамках текущего контроля успеваемости используются такие виды учебной работы, как лекции, семинары, домашние задания, контесты, проект, а также различные виды самостоятельной работы обучающихся по заданию преподавателя, направленные на развитие навыков профессиональной лексики, закрепление практических профессиональных компетенций, поощрение инициатив.

*Лекция* – систематическое, последовательное, монологическое изложение преподавателем учебного материала, как правило, теоретического характера.

В процессе лекций рекомендуется вести конспект лекций: кратко и схематично фиксировать основные идеи, выводы и обобщения лекции; выделять важные мысли, ключевые слова и термины. Необходимо отметить вопросы или материалы, которые вызывают затруднения, и попытаться найти ответы в рекомендованной литературе. Если разобраться в материале не удается, следует сформулировать вопрос и задать его преподавателю на консультации или во время семинарского (практического) занятия.

*Семинар* – это форма учебной деятельности, проводимая в учебном заведении под руководством преподавателя, где студенты активно участвуют в обсуждениях, практических заданиях и других формах взаимодействия.

Для успешной подготовки к семинару рекомендуется заранее ознакомиться с темой занятия и основными материалами, чтобы иметь возможность активно участвовать в обсуждении. Также полезно подготовить вопросы и идеи для обсуждения, что поможет глубже понять материал и продемонстрировать заинтересованность.

*Домашнее задание* – набор задач по темам недели.

При работе над домашними заданиями важно внимательно ознакомиться с требованиями и сроками выполнения. Рекомендуется разбивать задания на этапы, чтобы избежать перегрузки и лучше усвоить материал. Использовать различные источники информации, включая учебники и онлайн-ресурсы, для более глубокого понимания темы.

*Контест* – интерактивная платформа с заданиями разного уровня сложности и автоматической проверкой результатов.

Контест позволяет оперативно оценивать усвоение материала и выявлять пробелы в знаниях через тесты и практические задачи. Такой формат способствует регулярной самопроверке и повышает мотивацию к изучению дисциплины.

*Проект* – исследовательская работа по дисциплине (модулю) и презентация

результатов.

Для успешной подготовки к проекту рекомендуется: четко определить цели и задачи проекта; составить план работы, разбив проект на этапы с указанием сроков выполнения каждого из них; использовать разнообразные источники информации и инструменты для исследования темы; регулярно проверять прогресс и вносить коррективы в план, если это необходимо.

*Самостоятельная работа* – работа студентов, направленная на углубленное изучение отдельных тем и вопросов учебной дисциплины (модуля).

В процессе самостоятельной работы студенты взаимодействуют с рекомендованными материалами при минимальном участии преподавателя. Задачи студента включают работу с конспектами лекций (обработка текста), повторное изучение учебных материалов планов и тезисов ответов, изучение дополнительных тем, выполнение учебно-исследовательских заданий и другое.

## Система оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

**Критерии получения уровня и оценивания сформированности компетенций по дисциплине (модулю) «Робототехника и физическое машинное обучение»**

Оценивание уровня учебных достижений, обучающихся по дисциплине (модулю), осуществляется в виде текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

**Промежуточная аттестация** по дисциплине (модулю) осуществляется в форме ***зачёта с оценкой***, при этом проводится оценка компетенций, сформированных по дисциплине.

Для оценивания текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется десятибалльная шкала оценивания, которая соотносится с традиционной пятибалльной шкалой следующим образом, если иное не указано в силлабусе дисциплины:

| **Десятибалльная оценка** | **Пятибалльная оценка** | **Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю)** |
|---|---|---|
| 10 | Отлично | Студент полностью владеет знаниями, изложенными в рабочей программе, и глубоко осмысляет дисциплину. Он самостоятельно и логически последовательно отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее важном. Умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать изученный материал, выделяя ключевые моменты и устанавливая причинно-следственные связи. Четко формулирует ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты дисциплины (модуля) с практическими задачами. |
| 9 | Отлично | |
| 8 | Отлично | |
| 7 | Хорошо | Студент обладает знаниями предмета почти в полном объеме рабочей программы и самостоятельно, логически последовательно и всесторонне отвечает на все вопросы, акцентируя внимание на наиболее значимых моментах. Он умеет анализировать, сравнивать, классифицировать, обобщать, конкретизировать и систематизировать |
| 6 | Хорошо | |

| Десятибалльная оценка | Пятибалльная оценка | Общая характеристика результата обучения по дисциплине (модулю) |
|---|---|---|
| | | изученный материал, выделяя его ключевые аспекты и устанавливая причинно-следственные связи. Формулирует свои ответы, уверенно интерпретирует результаты анализов и других исследований, а также решает сложные ситуационные задачи. Студент хорошо знаком с методами исследования, необходимыми для практической деятельности, и умеет связывать теоретические аспекты предмета с практическими задачами. |
| 5 | Удовлетворительно | Студент обладает базовыми знаниями по дисциплине (модулю), но испытывает трудности при самостоятельных ответах и использует неточные формулировки. В ходе ответов он допускает ошибки, касающиеся сути вопросов. Студент способен решать только самые простые задачи и владеет лишь минимальным набором методов исследования. |
| 4 | Удовлетворительно | |
| 3 | Не сдан | Студент не овладел обязательным минимумом знаний по предмету и не может ответить на вопросы, даже если преподаватель задает дополнительные наводящие вопросы. |
| 2 | Не сдан | |
| 1 | Не сдан | |

Дисциплина (модуль) «Робототехника и физическое машинное обучение» оценивается следующим образом:

| Активность | Вес | Количество | Описание |
|---|---|---|---|
| Домашние задания | 40% | 15 | Набор задач по темам недели |
| Контест | 40% | 15 | Интерактивные задания разного уровня сложности с автоматической проверкой результатов |
| Зачёт с оценкой | 20% | 1 | Проект - Исследовательская работа по дисциплине (модулю) и презентация результатов |

**Формула расчёта итоговой оценки по дисциплине (модулю) «Робототехника и физическое машинное обучение»:** «0,4 × среднее за домашние задания + 0,4 × среднее за контест + 0,2 × зачёт с оценкой».

**Текущий контроль успеваемости обучающихся по дисциплине (модулю)**

**Примерные домашние задания**

**Домашнее задание 1.**

1. Объясните, из каких основных компонентов состоит архитектура робототехнической системы и как взаимодействуют сенсоры, актуаторы и вычислительная платформа;
2. Опишите, что такое степени свободы и рабочее пространство манипулятора, и приведите примеры для промышленного робота и мобильной платформы;
3. Реализуйте прямую кинематику для двухзвенного манипулятора с использованием представления Денавита–Хартенберга и вычислите положение конечного эффектора;
4. Решите задачу обратной кинематики для простого манипулятора в двумерной плоскости и объясните, почему она может иметь несколько решений;

5. Опишите, как уравнения Лагранжа применяются для моделирования динамики робота, и объясните роль обобщённых координат и сил.

**Домашнее задание 2.**

1. Опишите принципы работы лидаров, RGB-камер и RGB-D сенсоров, а также их преимущества и ограничения в задачах восприятия;
2. Объясните, зачем необходима калибровка и синхронизация сенсоров в робототехнической системе и как она влияет на качество восприятия;
3. Сравните подходы EKF-SLAM и граф-базированного SLAM: в чём разница в структуре представления и эффективности при масштабировании;
4. Объясните, как работает расширенный фильтр Калмана (EKF) при оценке положения робота в нелинейной среде;
5. Опишите, как алгоритмы вроде YOLO и Mask R-CNN используются в робототехнике для детекции и сегментации объектов, и приведите пример их применения в задаче манипуляции.

**Домашнее задание 3.**

1. Реализуйте алгоритм A* на графе, представляющем карту помещения, и найдите кратчайший путь от начальной до целевой точки с учётом препятствий;
2. Опишите, как алгоритм RRT строит дерево возможных траекторий в пространстве конфигураций и как учитывает кинематические ограничения робота;
3. Объясните, в чём заключается разница между планированием пути и планированием траектории, и почему второе требует учёта динамических ограничений;
4. Реализуйте или опишите схему генерации траектории с помощью кубических сплайнов, обеспечивающих непрерывность скорости и ускорения;
5. Опишите, как PID-регулятор используется для управления движением робота, и объясните, как подбираются коэффициенты для стабильной работы.

**Примерные задания для контеста**

**Контест 1.**

1. Определите количество степеней свободы у промышленного манипулятора с шестью вращательными соединениями и объясните, как это связано с возможностью позиционирования и ориентации конечного эффектора;
2. Реализуйте функцию на Python, которая по заданным углам сочленений и параметрам Денавита–Хартенберга вычисляет положение конечного эффектора для двухзвенного манипулятора в плоскости;
3. Решите задачу обратной кинематики для двухзвенного манипулятора с длинами звеньев L1 = 1 м, L2 = 0.8 м, если целевая точка имеет координаты (1.2, 0.5); выведите оба возможных решения для углов;
4. Вычислите якобиан манипулятора 2R в заданной конфигурации и объясните, как он связывает скорости сочленений со скоростью конечного эффектора;
5. В симуляторе MuJoCo задайте параметры массы и инерции звена робота так, чтобы при свободном падении оно достигало земли за 1.5 секунды; проверьте результат с помощью симуляции и введите значение массы.

**Контест 2.**

1. Вычислите координаты точки в глобальной системе, если лидар зафиксировал её на расстоянии 3 м под углом 45°, а робот расположен в точке (2, 1) с ориентацией 30°; введите ответ с точностью до двух знаков;
2. Реализуйте функцию на Python, которая принимает два изображения с камеры и вычисляет оптический поток между ними с использованием метода Лукаса–Канаде; верните среднее смещение по X и Y;

3. В задаче EKF-SLAM обновите оценку положения робота, если измерение с лидара показало расстояние до маркера 4.2 м, угол 25°, а предыдущая оценка была (3.8, 0.5), ориентация 20°; введите обновлённые координаты;

4. Используя предобученную модель YOLOv8, определите количество объектов класса "чашка" на изображении и координаты их центров; введите число объектов и среднюю X-координату;

5. На основе RGB-D изображения постройте облако точек в пределах заданного диапазона глубины и найдите центр масс выделенного объекта; введите координаты центра с точностью до трёх знаков.

**Контест 3.**

1. Реализуйте алгоритм A* на заданной сеточной карте 10x10 с препятствиями; найдите длину кратчайшего пути от (0,0) до (9,9) и введите число пройденных ячеек;

2. Сгенерируйте траекторию с помощью кубического сплайна между двумя точками с заданными начальной и конечной скоростями; вычислите ускорение в середине траектории и введите значение;

3. Напишите функцию, которая для заданной конфигурации робота и препятствий проверяет, является ли конфигурация допустимой (без коллизий); протестируйте на трёх входных данных и введите результаты как последовательность 0 и 1;

4. Настройте PID-регулятор для стабилизации положения манипулятора в вертикальном положении; при заданной ошибке 0.1 рад и параметрах Kp=2, Ki=0.5, Kd=0.1 вычислите управляющее воздействие на втором шаге при нулевой начальной скорости;

5. В симуляции задайте целевую траекторию для мобильного робота и реализуйте простой контроллер, отслеживающий её с помощью пропорционального управления по отклонению; введите значение бокового отклонения в конце движения.

**Примерное описание задания и критерии оценивания к проекту**

**Цель проекта**: разработать и протестировать сквозную робототехническую систему в физической симуляции, объединяющую восприятие, оценку состояния, планирование и управление с использованием методов машинного обучения, включая обучение с подкреплением.

**Задачи проекта:**

— выбрать или реализовать модель робота (манипулятор или мобильная платформа) в симуляторе (например, MuJoCo, PyBullet, Isaac Gym) и описать её архитектуру: степени свободы, сенсоры, актуаторы и рабочее пространство;

— реализовать модуль восприятия: подключить виртуальные камеры и/или лидар, обработать данные с помощью методов компьютерного зрения (например, детекция объектов, построение облака точек) и использовать их для локализации робота или идентификации целей;

— реализовать алгоритм планирования движения: построить путь от начальной до целевой точки с учётом препятствий с помощью A*, RRT или PRM, а затем сгенерировать гладкую траекторию с использованием сплайнов или оптимизационного подхода;

— реализовать систему управления: настроить PID-регулятор или модельно-прогнозирующее управление (MPC) для отслеживания траектории, либо обучить политику с помощью глубокого обучения с подкреплением (например, SAC или A3C) в среде с непрерывными действиями;

— провести эксперименты по обучению и тестированию системы в симуляции, применить техники domain randomization для повышения устойчивости политики и проанализировать возможность переноса на реальный робот;

— подготовить отчёт и презентацию, включающие архитектуру решения, результаты экспериментов, визуализацию траекторий, графики наград и обсуждение ограничений и путей улучшения.

**Критерии оценивания проекта:**

— корректность реализации физической модели робота и его кинематики/динамики в выбранном симуляторе;

— качество модуля восприятия: точность обработки сенсорных данных и использование информации для локализации или идентификации объектов;

— эффективность алгоритмов планирования и управления: учёт ограничений, плавность траектории, отсутствие коллизий;

— обоснованность выбора и успешность применения методов машинного обучения, включая настройку и сходимость обучения с подкреплением;

— полнота анализа результатов, визуализация процесса и обоснованность выводов о применимости решения в реальных условиях, включая оценку sim-to-real зазора.

**Задания для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

| № п/п | Задание | Ответ | Компетенция |
|---|---|---|---|
| 1 | Назовите основные компоненты архитектуры робототехнической системы и их назначение | Сенсоры, актуаторы, вычислительная платформа, ПО для управления и восприятия | УК-1 |
| 2 | Объясните, что такое степени свободы и как они влияют на рабочее пространство робота | Количество независимых движений, определяющих подвижность и возможности позиционировани я | УК-1 |
| 3 | Укажите, для чего используется представление Денавита–Хартенберга в кинематике роботов | Для систематического описания сочленений и вычисления прямой кинематики | УК-1 |
| 4 | Назовите метод, позволяющий вычислить скорость конечного эффектора по скоростям сочленений | Якобиан манипулятора | УК-1 |
| 5 | Объясните, зачем необходима идентификация параметров динамической системы при моделировании робота | Для точного воспроизведения поведения в симуляторе и управления в реальных условиях | УК-1 |
| 6 | Назовите принцип, лежащий в основе работы лидара как сенсора дистанционного зондирования | Измерение времени возврата лазерного импульса / ToF | УК-2 |
| 7 | Укажите, зачем необходима калибровка между камерой и лидаром в робототехнической системе | Для объединения данных в единой системе координат / пространственная синхронизация | УК-2 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 8 | Объясните, в чём заключается задача SLAM и какие основные компоненты в неё входят | Одновременная локализация и картографирование: построение карты и определение положения робота | УК-2 |
| 9 | Назовите фильтр, используемый для оценки состояния в нелинейных системах с шумными измерениями | Расширенный фильтр Калмана / EKF | УК-2 |
| 10 | Укажите, как алгоритм YOLO используется в робототехнике для обработки визуальной информации | Для детекции объектов в реальном времени с камеры | УК-2 |
| 11 | Назовите алгоритм поиска пути на графе, использующий эвристику для ускорения поиска | A* | ОПК-1 |
| 12 | Объясните, как алгоритм RRT учитывает кинематические ограничения робота при построении траектории | Генерирует случайные конфигурации в пространстве состояний и проверяет допустимость | ОПК-1 |
| 13 | Укажите, зачем используются сплайны при планировании траектории робота | Для обеспечения плавности, непрерывности скорости и ускорения | ОПК-1 |
| 14 | Назовите компоненту, отвечающую за отслеживание заданной траектории с минимальной ошибкой | Система управления / контроллер | ОПК-1 |
| 15 | Объясните, в чём заключается преимущество MPC перед классическими регуляторами | Учёт ограничений и оптимизация на скользящем горизонте | ОПК-1 |
| 16 | Назовите алгоритм глубокого обучения с подкреплением, подходящий для непрерывных пространств действий | Soft Actor-Critic / SAC | ПК-1 |
| 17 | Укажите, какая среда используется для обучения роботов в физической симуляции с поддержкой градиентов | MuJoCo / Isaac Gym | ПК-1 |
| 18 | Объясните, зачем применяется domain randomization при обучении в симуляции | Для повышения устойчивости политики при переносе на реальный робот | ПК-1 |
| 19 | Назовите подход, позволяющий обучать агента с учётом ограничений безопасности | Безопасное обучение с подкреплением / Safe RL | ПК-2 |
| 20 | Назовите метод, используемый для переноса знаний из симуляции в реальный мир через адаптацию признаков | Domain adaptation / Адаптация предметной области | ПК-2 |