ЦЕНТРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДЕНА

Решением Ученого совета
АНО ВО «Центральный университет»
«07» марта 2024 г.
Протокол №1

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: *2024*

Москва
2024

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. Прямая и обратная кинематика: представление Денавита–Хартенберга, геометрические методы, якобиан манипулятора. 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. Локализация и картографирование (SLAM): EKF-SLAM, FastSLAM, SLAM, основанный на графах. Визуальный SLAM. Оценка состояния: фильтр Калмана (линейный, расширенный). Байесовские фильтры для отслеживания объектов. 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. Планирование траекторий: сплайны, оптимизационные подходы (CHOMP, TrajOpt). Учёт динамических ограничений. 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. Обучение в симуляции: среды OpenAI Gym, MuJoCo, Isaac Gym. Параллельное обучение, асинхронное взаимодействие. 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. 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 позиционирования	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