

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Институт компьютерных наук и технологий

Авторы-составители: **Кнутова Наталия Сергеевна
Автайкин Сергей Владимирович**

Рабочая программа дисциплины

**ТРЕК "РОБОТОТЕХНИКА И БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ (СИМУЛЯТОРЫ И
ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ)"**

Код УМК 101870

Утверждено
Протокол №1
от «28» июня 2024 г.

Пермь, 2024

1. Наименование дисциплины

Трек "Робототехника и беспилотные системы (Симуляторы и цифровые двойники)"

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление подготовки: **01.03.02** Прикладная математика и информатика
направленность Инженерия программного обеспечения

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Трек "Робототехника и беспилотные системы (Симуляторы и цифровые двойники)"** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.03.02 Прикладная математика и информатика (направленность : Инженерия программного обеспечения)

ПК.5 Способен разрабатывать требования и проектировать программное обеспечение

Индикаторы

ПК.5.2 Разрабатывает, изменяет архитектуру компьютерного программного обеспечения; проектирует структуры данных, базы данных, алгоритмы, программные интерфейсы

4. Объем и содержание дисциплины

Направление подготовки	01.03.02 Прикладная математика и информатика (направленность: Инженерия программного обеспечения)
форма обучения	очная
№.№ семестров, выделенных для изучения дисциплины	8
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	52
Проведение лекционных занятий	18
Проведение практических занятий, семинаров	34
Самостоятельная работа (ак.час.)	92
Формы текущего контроля	Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (8 семестр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

1. Симуляторы как среда для проектирования роботов

Роль симуляторов в разработке, тестировании и оптимизации робототехнических систем. Инструменты моделирования физики, сенсоров и окружения для ускорения жизненного цикла создания роботов

2. SITL и HITL симуляции

Методы Software-in-the-Loop (SITL) и Hardware-in-the-Loop (HITL) симуляции для тестирования и отладки робототехнических систем и БПЛА без рисков, связанных с физическими прототипами

3. Цифровые модели датчиков : ГНСС, компас (магнитометр), барометр, ИНС, камеры глубины, лидары

ГНСС. Общие принципы. Альманахи, эфемериды. Навигационные сообщения. Способы оценки псевдодальности. Оценки по коду и по фазе несущей. Фазовая неоднозначность и способы ее разрешения. Помехи NLOS. Активные помехи: маскирующие, имитирующие. Методы повышения точности, дифференциальные методы. PPP, RTK, PPK. Ограничения ГНСС. Моделирование ГНСС приёмников. ИНС. Общие сведения. Принцип работы. Гироскопы и акселерометры. Кажущиеся ускорения и угловые скорости. Бесплатформенные (strapdown) и гиростабилизированные ИНС. Классы точности. Ограничения ИНС. Моделирование ИНС. Погрешности ИНС, ARW, VRW, систематическое и случайное смещение нулей. Магнитометр. Принцип работы. Характеристики и модели магнитного поля земли. Моделирование магнитометра. Параметры модели. Барометр (высотомер). Принцип работы. Барометрическая формула. Моделирование барометра. Параметры модели. Одометрия (счисление пути). Принцип работы. Пример счисления для двухколесного робота (diff drive). Визуальная одометрия. Общие принципы. Камеры (моно, стерео, камеры глубины), лидары, радары, сонары. Радиометки. Различные принципы радионавигации. ToA, TDoA, DoA, Dopler. Захват движения (MoCap). Общие принципы.

4. Плагины Gazebo. Функционал плагинов.

Физический и графический движок, работа датчиков, актуаторов и промежуточных контроллеров.

Документация:

общая <https://gazebo-sim.org/docs/fortress>

tutorials+ программный API <https://gazebo-sim.org/api/sim/6>

исходный код + примеры <https://github.com/gazebo-sim/gz-sim/tree/ign-gazebo6>

Разбор минимального примера плагина и его программная структура. Паттерн проектирования Entity Component System.

Разбор исходного кода плагина DiffDrive

5. Плагины Gazebo. Сущности-объекты и компоненты-данные.

Класс EntityComponentManager.

Пример исходного кода плагина DiffDrive.

Транспортная система Gazebo, tutorials, примеры кода.

<https://gazebo-sim.org/api/transport/11/tutorials.html>

<https://github.com/gazebo-sim/gz-transport/tree/ign-transport11>

Изменение примера плагина для использования транспортной системы (практическая работа)

Функции обратного вызова (callbacks) и межпоточное взаимодействие (threads).

6. Локализация и навигация (SLAM, RTABMap, RViz)

Основы навигации (локализация, построение карты, поиск пути по карте, следование по пути с избеганием препятствий). Основы SLAM.

Формат карты в ROS. Gmapping. AMCL. move_base.

Пример 1. Построение карты с помощью Gmapping (тележка).

Пример 2. Навигация по загруженной карте (тележка).

Пример 3. Навигация с построением карты (тележка).

Пример 4. Автономное построение карты (тележка).

Пример 5. Навигация с SLAM RTAB-Map (гексапод).

7. Локализация и навигация . Использование Gmapping и ROS navigation на практике.

Запуск модели робота в ROS и Gazebo Classic.

Запуск Gmapping и построение карты.

Запуск системы навигации.

Написание скрипта для задания целей для системы навигации.

8. Планирование пути, планировщики, фильтрация.

Фильтр Калмана. Принцип работы. АБГШ. Модель динамической системы. Модель измерений.

Ограничения. Расширенный фильтр Калмана (EKF). Применение. Пример для двухколесного робота (diff drive) со счислением пути. Проверка целостности (Receiver autonomous integrity monitoring).

Планировщики пути. Общие принципы. Графы: взвешенные, связные, планарные. Карты занятости.

Карты стоимости. Алгоритмы поиска кратчайшего пути в графе. Алгоритм Дейкстры. A*. JPS.

Локальные планировщики. Метод Потенциальных полей. Метод "пучка траекторий" (Trajectory rollout algorithm). Dynamic Window Approach. Траектории минимального рывка. Причины использования.

Способы построения. Quadratic programming.

Самостоятельная работа над проектами

9. ROS2 и Gazebo, SLAM, навигация

ROS2 и Gazebo: launch-файлы, запуск Gazebo, добавление модели робота, URDF и robot_description, TF, настройка ROS2-Gazebo bridge, RViz.

SLAM: запуск, настройка и работа со Slam Toolbox.

Навигация: архитектура системы навигации nav2, её настройка и запуск. Кратко о QoS и managed life cycle for nodes в ROS2. Кратко о behavior tree.

Пример: скрипт для автономного построения карты с использованием Slam Toolbox, nav2 и обработки изображений карты.

Самостоятельная работа над проектами

10. Управление роботом в Gazebo с использованием SLAM Rtabmap, RGB-D камеры и 2D навигации

Общедоступные модели миров, ПТК и его датчиков, объектов окружающего мира (<https://app.gazebosim.org/fuel>).

Составная модель квадрокоптера с RGB-D камерой и imu сенсором.

Системы координат сенсоров и их приведение к системе координат ПТК с помощью static_transform_publisherROS2.

Проверка работы tf и Rviz с помощью плагинов выдающих положения и tf преобразования (odometry, joint state)

ROS2 программный контроллер, считывающий tf и поддерживающий заданную высоту квадрокоптера для 2D навигации.

3D SLAM алгоритм (на примере Rtabmap): на входе RGB-D и Imu данные, на выходе локальная одометрия, глобальная карта, облако точек глубины в системе координат ПТК.

Использование кватерниона поворота ПТК из показаний Imu сенсора для уточнения одометрии.

Подключение стека 2D навигации Nav2: на входе local costmap - облако точек, global costmap - глобальная

карта. Настройка ограничений по скорости и ускорению коптера, названий фреймов.

11. Экзамен

Защита проектов

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторные занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Горбаченко, В. И. Машинное обучение: настраиваем ПО, готовим данные, анализируем / В. И. Горбаченко, К. Е. Савенков, М. А. Малахов. — Москва, Алматы : Ай Пи Ар Медиа, EDP Hub (Идипи Хаб), 2024. — 248 с. — ISBN 978-5-4497-2314-7. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://www.iprbookshop.ru/133452.html>
2. Программное обеспечение мехатронных и робототехнических систем : учебное пособие / А. И. Изюмов, Е. Б. Лаврентьев, С. И. Попов, Э. В. Марченко. — Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2023. — 64 с. — ISBN 978-5-7890-2098-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://www.iprbookshop.ru/130456>
3. Афонин, В. Л. Интеллектуальные робототехнические системы : учебное пособие / В. Л. Афонин, В. А. Макушкин. — 4-е изд. — Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), Ай Пи Ар Медиа, 2024. — 221 с. — ISBN 978-5-4497-3302-3. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://www.iprbookshop.ru/142270.html>

Дополнительная:

1. Шакирьянов, Э. Д. Компьютерное зрение на Python. Первые шаги / Э. Д. Шакирьянов. — Москва : Лаборатория знаний, 2021. — 161 с. — ISBN 978-5-00101-944-2. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. <https://www.iprbookshop.ru/103032.html>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

При освоении дисциплины использование ресурсов сети Интернет не предусмотрено.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Трек "Робототехника и беспилотные системы (Симуляторы и цифровые двойники)"** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

Для формирования и развития профессиональных навыков обучающихся, в учебном процессе используются:

- презентационные материалы (слайды по темам занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- тестирование;
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета;
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта, профессиональные тематические чаты и форумы, системы аудио и видео конференций, онлайн энциклопедии и т.д.).

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных и практических занятий необходим компьютерный класс, оснащенный презентационной техникой с соответствующим программным обеспечением

Для самостоятельной работы студентов необходима

- аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет, с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета;
- помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Трек "Робототехника и беспилотные системы (Симуляторы и цифровые двойники)"**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ПК.5

Способен разрабатывать требования и проектировать программное обеспечение

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
ПК.5.2 Разрабатывает, изменяет архитектуру компьютерного программного обеспечения; проектирует структуры данных, базы данных, алгоритмы, программные интерфейсы	Способность создавать и модернизировать программную архитектуру симуляционных систем, обеспечивающую достоверное моделирование сложных робототехнических комплексов	<p align="center">Неудовлетворительно</p> Не выполнены условия на "удовлетворительно" <p align="center">Удовлетворительно</p> Не выполнены условия на "хорошо". Студент допускает большое количество ошибок, которое может исправить самостоятельно или с помощью преподавателя <p align="center">Хорошо</p> Не выполнены условия на "отлично". Студент допускает небольшое количество ошибок, которые может исправить самостоятельно <p align="center">Отлично</p> Студент самостоятельно проектирует модульную архитектуру симуляторов, оптимизирует производительность моделей

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.5.2 Разрабатывает, изменяет архитектуру компьютерного программного обеспечения; проектирует структуры данных, базы данных, алгоритмы, программные интерфейсы	3. Цифровые модели датчиков : ГНСС, компас (магнитометр), барометр, ИНС, камеры глубины, лидары Защищаемое контрольное мероприятие	разработка и тестирование цифровой модели датчиков
ПК.5.2 Разрабатывает, изменяет архитектуру компьютерного программного обеспечения; проектирует структуры данных, базы данных, алгоритмы, программные интерфейсы	7. Локализация и навигация . Использование Gmapping и ROS navigation на практике. Защищаемое контрольное мероприятие	Реализация автономной навигации мобильного робота в симулированной среде
ПК.5.2 Разрабатывает, изменяет архитектуру компьютерного программного обеспечения; проектирует структуры данных, базы данных, алгоритмы, программные интерфейсы	11. Экзамен Итоговое контрольное мероприятие	теоретическая часть и практическое задание в симуляторе

Спецификация мероприятий текущего контроля

3. Цифровые модели датчиков : ГНСС, компас (магнитометр), барометр, ИНС, камеры глубины, лидары

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
-----------------------	-------

Корректность моделей	9
Интеграция с ROS	8
Настройка шумов	7
Визуализация	3
Документация	3

7. Локализация и навигация . Использование Gmapping и ROS navigation на практике.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Корректность картографирования	7
Планирование маршрута	7
Точность локализации	6
Интеграция с ROS	5
Документация	4

11. Экзамен

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Разработка и демонстрация цифрового двойника мобильного робота/БПЛА в Gazebo	24
Письменная работа по теории	16