

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы бакалавриата
по направлению подготовки
15.03.06 Мехатроника и робототехника,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Навигация и управление перемещением

Направление подготовки: 15.03.06 Мехатроника и робототехника

Направленность (профиль): Автоматизация и роботизация
технологических процессов

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 610876
Подписал: заведующий кафедрой Григорьев Павел
Александрович
Дата: 01.06.2025

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целью изучения дисциплины (модуля) является:

- формирование компетенций в области проектирования, программирования и оптимизации систем навигации и управления движением робототехнических комплексов;
- освоение основных технологических средств для осуществления ориентации роботов в пространстве.

Задачами дисциплины (модуля) являются:

- получение комплексного представления о методах навигации роботов: от классических (SLAM, визуальная одометрия) до современных (ИИ-ориентированные подходы);
- формирование навыков работы с программными комплексами (ROS, Gazebo, MATLAB) для моделирования и реализации навигационных систем;
- формирование требований к аппаратной части (лидары, IMU, камеры) и программному обеспечению (алгоритмы PID, MPC, RRT*) для промышленных робототехнических комплексов;
- изучение современных тенденций в области навигации.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ОПК-11 - Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем;

ОПК-12 - Способен участвовать в монтаже, наладке, настройке и сдаче в эксплуатацию опытных образцов мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных модулей;

ПК-2 - Способен производить комплексную настройку мехатронных и робототехнических систем, используя программное обеспечение контроллеров и управляющих ЭВМ, их систем управления .

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Владеть:

- навыками использования программного обеспечения ROS, Gazebo, MATLAB/Simulink;
- навыками применения OpenCV, PCL (Point Cloud Library);
- навыками калибровки сенсоров.

Знать:

- методы локализации и картографирования (SLAM, фильтр Калмана);
- алгоритмы управления: PID, MPC, обратная кинематика;
- типы сенсоров: лидары, IMU, камеры.

Уметь:

- настраивать навигационные системы для мобильных роботов;
- реализовывать алгоритмы управления в симуляторах и на реальном железе;
- анализировать и устранять ошибки в системах движения.

3. Объем дисциплины (модуля).**3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).**

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 3 з.е. (108 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Семестр №7
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	64	64
В том числе:		
Занятия лекционного типа	32	32
Занятия семинарского типа	32	32

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 44 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	Введение в навигацию роботов Рассматриваемые вопросы: - Классификация систем навигации: абсолютная, относительная, локальная, глобальная; - Примеры применения: AGV, дроны, подводные роботы. - Ключевые проблемы навигации: шумы сенсоров, динамическая среда.
2	Обратная кинематика манипуляторов во взаимодействии с подвижными объектами Рассматриваемые вопросы: - Решение обратной задачи для 6-осевых роботов. - Методы оптимизации: псевдообратная матрица Якоби. - Примеры в ROS MoveIt и MATLAB.
3	Сенсоры для навигации. Рассматриваемые вопросы: - Принципы работы лидаров, камер, IMU, GPS. - Сравнение точности и надежности сенсоров. - Калибровка и синхронизация данных от разных сенсоров.
4	Локализация и SLAM Рассматриваемые вопросы: - Алгоритмы SLAM: gmapping, Cartographer, ORB-SLAM3. - Роль ROS в реализации SLAM-систем. - Проблема дрейфа в одометрии и методы её компенсации.
5	Фильтр Калмана и его модификации Рассматриваемые вопросы: - Базовый фильтр Калмана: математическая модель. - Расширенный (EKF) и ансамблевый (EnKF) фильтры. - Применение в задачах локализации мобильных роботов.
6	Управление движением мобильных роботов Рассматриваемые вопросы: - Кинематика дифференциального привода. - Алгоритмы следования по траектории: Pure Pursuit, MPC. - Адаптация к изменяющимся условиям (скольжение, неровные поверхности).
7	PID-регуляторы в навигации Рассматриваемые вопросы: - Принцип работы PID: пропорциональная, интегральная, дифференциальная составляющие. - Настройка коэффициентов методом Циглера-Никольса. - Anti-windup механизмы для предотвращения перегулирования.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
8	Модель Predictive Control (MPC) Рассматриваемые вопросы: - Основы MPC: прогнозирование, оптимизация, обратная связь. - Применение для управления дронами и манипуляторами. - Сравнение с классическими методами (PID, LQR).
9	Визуальная одометрия Рассматриваемые вопросы: - Алгоритмы: ORB-SLAM, VINS-Fusion. - Обработка данных стереокамер и RGB-D сенсоров. - Проблемы при слабой освещенности и динамических объектах.
10	Обратная кинематика манипуляторов во взаимодействии с подвижными объектами Рассматриваемые вопросы: - Решение обратной задачи для 6-осевых роботов. - Методы оптимизации: псевдообратная матрица Якоби. - Примеры в ROS MoveIt и MATLAB.
11	Навигация в динамических средах Рассматриваемые вопросы: - Алгоритмы избегания препятствий: D* Lite, RRT*. - Учет движения людей и других роботов. - Интеграция с системами безопасности (экстренная остановка).
12	Системы управления дронами Рассматриваемые вопросы: - Архитектура PX4 и ArduPilot. - Планирование маршрутов в 3D-пространстве. - Режимы полета: автономный, полуавтономный, ручной.
13	ИИ в навигации Рассматриваемые вопросы: - Deep Reinforcement Learning для планирования пути. - Нейросетевые модели для прогнозирования препятствий. - Кейсы: обучение робота в симуляторе и перенос на реальное железо.
14	Картографирование в 3D Рассматриваемые вопросы: - Использование лидаров Velodyne и RGB-D камер (Intel RealSense). - Алгоритмы обработки точечных облаков (PCL). - Применение в строительстве и инспекции объектов.
15	Безопасность навигационных систем Рассматриваемые вопросы: - Резервирование сенсоров и алгоритмов. - Обработка сбоев: переход на резервные системы. - Стандарты ISO 13849 для промышленных роботов.
16	Промышленное применение навигации Рассматриваемые вопросы: - Amazon Robotics: навигация в логистических центрах. - Boston Dynamics: перемещение в сложных ландшафтах. - Автономные погрузчики: Toyota, KION Group.
17	Будущее навигации Рассматриваемые вопросы: - Нейроморфные вычисления для ускорения алгоритмов. - Квантовые сенсоры: повышение точности измерений. - Этические аспекты автономных систем: ответственность за решения.

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	Анализ систем навигации роботов В результате выполнения лабораторной работы студенты изучат классификацию систем навигации (абсолютная, относительная, локальная) и проанализируют их применение в кейсах AGV, дронов и подводных роботов.
2	Калибровка и тестирование сенсоров В результате выполнения лабораторной работы студенты освоят методы калибровки лидара и камеры, а также изучат синхронизацию данных с IMU и GPS в симуляторе Gazebo.
3	Реализация SLAM-алгоритма В результате выполнения лабораторной работы студенты изучат настройку алгоритма gmapping в ROS для построения карты помещения на основе данных лидара.
4	Фильтрация данных с использованием фильтра Калмана В результате выполнения лабораторной работы студенты освоят реализацию расширенного фильтра Калмана (EKF) для локализации мобильного робота в MATLAB.
5	Управление дифференциальным приводом В результате выполнения лабораторной работы студенты изучат алгоритм Pure Pursuit и применят его для программирования движения робота по заданной траектории.
6	Решение обратной кинематики для манипулятора В результате выполнения лабораторной работы студенты освоят настройку ROS MoveIt для позиционирования схвата 6-осевого робота в заданной точке.
7	Настройка PID-регулятора для стабилизации угла В результате выполнения лабораторной работы студенты изучат принципы работы PID-регулятора и применят их для балансировки перевернутого маятника.
8	Применение MPC для управления дроном В результате выполнения лабораторной работы студенты освоят настройку Model Predictive Control (MPC) для стабилизации высоты квадрокоптера в MATLAB.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Визуальная одометрия на основе ORB-SLAM В результате выполнения практического задания студенты изучат обработку данных стереокамеры в ROS и построение траектории движения робота.
2	Алгоритм избегания препятствий RRT В результате выполнения практического задания студенты освоят интеграцию алгоритма RRT* в ROS Navigation Stack для мобильного робота в динамической среде.
3	Настройка автономного полета дрона в PX4 В результате выполнения практического задания студенты изучат программирование маршрутов для дрона в симуляторе Gazebo и анализ телеметрии.
4	Обучение RL-агента для навигации В результате выполнения практического задания студенты освоят тренировку нейросети для движения робота к цели без столкновений в симуляторе.
5	Создание 3D-карты с помощью лидара В результате выполнения практического задания студенты изучат обработку данных лидара Velodyne в PCL и визуализацию 3D-карты.

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
6	Анализ отказоустойчивости навигационной системы В результате выполнения практического задания студенты проанализируют переход на резервные системы при сбое GPS и оценят время реакции.
7	Разбор кейса: логистические роботы Amazon В результате выполнения практического задания студенты изучат архитектуру навигации роботов Amazon Robotics и выявят ключевые технологические решения.
8	Проектирование системы навигации для Industry 5.0 В результате выполнения практического задания студенты разработают концепт автономного робота с использованием нейроморфных вычислений и оценят его перспективы.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Изучение дополнительной литературы
2	Подготовка к практическим занятиям
3	Подготовка к промежуточной аттестации.
4	Подготовка к текущему контролю.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Вычислительная геометрия. Алгоритмы и приложения / д. Б. Марк, Ч. Отфрид, в. К. Марк, О. Марк ; перевод с английского А. А. Слинкин. — 3-е изд. — Москва : ДМК Пресс, 2017. — 438 с. — ISBN 978-5-97060-406-9.	URL: https://e.lanbook.com/book/105833 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст: электронный.
2	Стейпл, Д. Устройство и программирование автономных роботов. Проекты на Python и Raspberry Pi / Д. Стейпл ; научный редактор В. С. Яценк ; перевод с английского Е. В. Шевчук. — Москва : ДМК Пресс, 2022. — 520 с. — ISBN 978-5-97060-989-7.	URL: https://e.lanbook.com/book/314879 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст: электронный.
3	Попов, Г. В. Микромеханические инерциальные датчики : учебное пособие / Г. В. Попов. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2015. — 269 с. — ISBN 978-5-7038-4336-9.	URL: https://e.lanbook.com/book/103444 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст: электронный.
4	Шапиро, Л. Компьютерное зрение : учебное пособие / Л. Шапиро, Д. Стокман ; перевод с английского А. А. Богуславского под редакцией С. М. Соколова. — 5-е изд. (эл.). — Москва :	URL: https://e.lanbook.com/book/417998 (дата обращения: 06.05.2025). — Текст: электронный.

Лаборатория знаний, 2024. — 763 с. — ISBN 978-5-93208-725-1.	
--	--

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Официальный сайт РУТ (МИИТ) (<https://www.miit.ru/>);

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru/>);

Образовательная платформа «Юрайт» (<https://urait.ru/>);

Общие информационные, справочные и поисковые системы «Консультант Плюс», «Гарант»;

Электронно-библиотечная система издательства «Лань» (<http://e.lanbook.com/>);

Электронно-библиотечная система ibooks.ru (<http://ibooks.ru/>).

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Microsoft Internet Explorer (или другой браузер);

Операционная система Microsoft Windows;

Операционная система Linux Ubuntu;

Microsoft Office;

Компас 3D;

CopelliaSim;

VS Code;

Arduino IDE.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные компьютерной техникой и наборами демонстрационного оборудования.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет в 7 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

менеджер

А.А. Кочурков

заведующий кафедрой, доцент, к.н.
кафедры «Наземные транспортно-
технологические средства»

П.А. Григорьев

Согласовано:

Заведующий кафедрой НТТС

П.А. Григорьев

Председатель учебно-методической
комиссии

С.В. Володин