

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Галунин Сергей Александрович  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 12.07.2023 16:46:23  
Уникальный программный ключ:  
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП  
«Автономные интеллектуальные  
системы»



**СПбГЭТУ «ЛЭТИ»**  
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»  
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)»**

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

ДИСЦИПЛИНЫ

**«SLAM- АЛГОРИТМЫ»**

для подготовки магистров

по направлению

09.04.04 «Программная инженерия»

по программе

**«Автономные интеллектуальные системы»**

Санкт-Петербург

2023

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

Заведующий кафедрой МОЭВМ, к.т.н., доцент Кринкин К.В.

ассистент Филатов А.Ю.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры МОЭВМ

15.02.2022, протокол № 2

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией

ФКТИ, 24.02.2022, протокол № 2

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

## 1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФКТИ
Обеспечивающая кафедра	МОЭВМ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	2
Курс	2
Семестр	3
<b>Виды занятий</b>	
Лекции (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	35
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	37
Всего (академ. часов)	72
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	
Дифф. зачет (курс)	2

## **2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«SLAM- АЛГОРИТМЫ»**

Рассматриваются вопросы SLAM — Simultaneous Localization And Mapping — метода одновременной навигации и построения карты, метода, используемого роботами и автономными транспортными средствами для построения карты в неизвестном пространстве или для обновления карты в заранее известном пространстве с одновременным контролем текущего местоположения и пройденного пути. Метод одновременной навигации и построения карты (SLAM) — это концепция, которая связывает два независимых процесса в непрерывный цикл последовательных вычислений, при котором результаты одного процесса участвуют в вычислениях другого процесса.

### **SUBJECT SUMMARY**

### **«SLAM-ALGORITHMS»**

SLAM -Simultaneous Localization And Mapping -is a method of simultaneous navigation and mapping, a method used by robots and autonomous vehicles to build a map in an unknown space or to update a map in a pre-known space while monitoring the current location and the distance traveled. Simultaneous Navigation and Mapping (SLAM) is a concept that links two independent processes into a continuous loop of sequential computation, in which the results of one process participate in the computations of another process.

## **3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **3.1 Цели и задачи дисциплины**

1. Целью дисциплины является формирование у обучающихся теоретических знаний о существующих, а также практических навыков по освоению новых методов и алгоритмов одновременной локализации и построения карты.
2. Задачей дисциплины является приобретение знаний, умений и навыков обоснованного и результативного применения современных алгоритмов одновременной локализации и построения карты, а также локализации на известной карте.
3. Приобретение знаний о существующих методах и алгоритмах одновременной локализации и построения карты.
4. Получение умений разрабатывать алгоритмы одновременной локализации и построения карты и применять методы компьютерного зрения и машинного обучения для решения задач одновременной локализации и построения карты.
5. Освоение навыков разработки и анализа алгоритмов одновременной локализации и построения карты, наблюдения окружающего мира, фильтрации данных.

### **3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Машинное обучение»
2. «Основы разработки автономных систем»
3. «Основы теории управления автономными системами»
4. «Математические методы распознавания образов»

## 5. «Нейронные сети»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

### 3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

<b>Код компетенции/ индикатора компетенции</b>	<b>Наименование компетенции/индикатора компетенции</b>
ПК-10	Способен исследовать и разрабатывать архитектуры систем искусственного интеллекта для различных предметных областей на основе комплексов методов и инструментальных средств систем искусственного интеллекта
<i>ПК-10.1</i>	<i>Выбирает комплексы методов и инструментальных средств искусственного интеллекта для решения задач в зависимости от особенностей предметной области</i>

## 4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Содержание разделов дисциплины

#### 4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение	0.5			
2	Тема 1. Технологии локализации на известной карте	2	2		2
3	Тема 2. Локализация на неизвестной карте.	2	2		2
4	Тема 3. SLAM на базе фильтра Калмана.	2	2		4
5	Тема 4. Фильтр частиц.	2	2		2
6	Тема 5. Легковесный SLAM алгоритм «за 200 строк»	2	2		4
7	Тема 6. Графовый SLAM алгоритм.	2	2		4
8	Тема 7. Современные SLAM алгоритмы.	2	2		2
9	Тема 8. Задача исследования окружения.	2	2		4
10	Заключение	0.5	1	1	13
	Итого, ач	17	17	1	37
	Из них ач на контроль	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	72/2			

#### 4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение	Постановка задачи локализации. GPS. Постановка задачи одновременной локализации и построения карты. Существующие подходы для решения задачи SLAM
2	Тема 1. Технологии локализации на известной карте	Преимущества и недостатки GPS. Одометрия. Датчики одометрии. IMU. Локализация при помощи камеры. Локализация при помощи данных Лидар
3	Тема 2. Локализация на неизвестной карте.	Структуры данных и алгоритмы, позволяющие сохранять и обновлять карту при получении новых данных. Карта занятости. Байесовские методы обновления карты занятости. Разрешение конфликтов. Глобальная локализация. Скан матчер
4	Тема 3. SLAM на базе фильтра Калмана.	Применение фильтра Калмана для решения задачи SLAM. Формализация сигналов входного воздействия для фильтра Калмана. Ограничения и недостатки SLAM на базе фильтра Калмана



№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
5	Тема 4. Фильтр частиц.	Определение частицы. Идея SLAM алгоритма, минимизирующего недостатки фильтра Калмана за счёт избавления от матрицы ковариации. FastSLAM. Достоинства, ограничения и недостатки FastSLAM
6	Тема 5. Легковесный SLAM алгоритм «за 200 строк»	Формализация всех процессов во время решения задачи SLAM. Простейшая структура карты занятости. Модель ячейки карты занятости. Скан матчер на базе метода Монте-Карло
7	Тема 6. Графовый SLAM алгоритм.	Представление карты в виде графа. Отличие результирующей карты и графа. Особенности обновления графовой карты. Google Cartographer. ORB SLAM. Достоинства хранения карты в виде графа. Ограничения и недостатки графовых SLAM алгоритмов
8	Тема 7. Современные SLAM алгоритмы.	Существующие датчики для SLAM алгоритмов: камеры, лидары, стереокамеры, всенаправленные камеры. Таксономия и сравнение современных SLAM алгоритмов. Открытые вопросы в задаче SLAM
9	Тема 8. Задача исследования окружения.	Использование локализации и задачи SLAM для решения задачи исследования окружения. Задача планирования траектории. Функция Ляпунова. Следование траектории. PID-регулятор
10	Заключение	Открытые и нерешенные вопросы в задаче SLAM. Реальное время. Ограничение алгоритмов SLAM, работающих в реальном времени

## 4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

## 4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Реализация алгоритма на базе фильтра Калмана	4
2. Реализация фильтра частиц и скан матчера “случайного поиска”	4
3. Реализация алгоритма SLAM “на 200 строк”	5
4. Реализация графового алгоритма SLAM и замыкания циклов	4
Итого	17

## 4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

#### **4.5 Реферат**

Реферат не предусмотрен.

#### **4.6 Индивидуальное домашнее задание**

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

#### **4.7 Доклад**

Доклад не предусмотрен.

#### **4.8 Кейс**

Кейс не предусмотрен.

#### **4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы**

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым

образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

<b>Текущая СРС</b>	<b>Примерная трудоемкость, ач</b>
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	13
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	6
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	2
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	16
<b>ИТОГО СРС</b>	<b>37</b>

## 5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Каплун, Дмитрий Ильич. Методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов на основе банков фильтров и их программно-аппаратная реализация [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Д. И. Каплун, Д. М. Клионский, А. В. Экало, 2016. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
Дополнительная литература		
1	Дауни А. Б. Байесовские модели [Электронный ресурс] : научное издание / А. Б. Дауни, 2018. -182 с.	неогр.

### 5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	FastSLAM - <a href="http://ai.stanford.edu/~koller/Papers/Montemerlo+al:AAAI02.pdf">http://ai.stanford.edu/~koller/Papers/Montemerlo+al:AAAI02.pdf</a>

### 5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=7572>

## 6 Критерии оценивания и оценочные материалы

### 6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «SLAM- алгоритмы» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: зачет с оценкой.

#### Зачет с оценкой

<b>Оценка</b>	<b>Описание</b>
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок теорем
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач.

## Особенности допуска

Для допуска к дифференцированному зачету необходимо получить не менее "Удовлетворительно" на каждом из 2 коллоквиумов. Дифференцированный зачет проводится по результатам текущего контроля.

## 6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Объясните погрешность GPS датчика
2	Опишите сущность работы скан-матчера
3	Перечислите ключевые недостатки SLAM алгоритма на базе фильтра Калмана
4	В каких задачах уместно применение фильтра частиц?
5	В чём заключается сущность замыкания циклов в графовых алгоритмах SLAM?
6	Перечислите основные критерии физичности траектории для движения робота
7	Представление карты в виде графа.
8	Отличие результирующей карты и графа.
9	Особенности обновления графовой карты.
10	Google Cartographer. ORB SLAM.
11	Достоинства хранения карты в виде графа.
12	Ограничения и недостатки графовых SLAM алгоритмов

### Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Перечень вопросов к коллоквиумам:

1. Постановка задачи локализации. GPS. Постановка задачи одновременного локализации и построения карты. Существующие подходы для решения задачи SLAM.

2. Преимущества и недостатки GPS. Одометрия. Датчики одометрии. IMU. Локализация при помощи камеры. Локализация при помощи данных Лидар.

3. Структуры данных и алгоритмы, позволяющие сохранять и обновлять карту при получении новых данных. Карта занятости. Байесовские методы обновления карты занятости. Разрешение конфликтов. Глобальная локализация.

Скан матчер.

4. Применение фильтра Калмана для решения задачи SLAM. Формализация сигналов входного воздействия для фильтра Калмана. Ограничения и недостатки SLAM на базе фильтра Калмана.

5. Определение частицы. Идея SLAM алгоритма, минимизирующего недостатки фильтра Калмана за счёт избавления от матрицы ковариации. FastSLAM. Достоинства, ограничения и недостатки FastSLAM.

6. Формализация всех процессов во время решения задачи SLAM. Простейшая структура карты занятости. Модель ячейки карты занятости. Скан матчер на базе метода МонтеКарло.

7. Представление карты в виде графа. Отличие результирующей карты и графа. Особенности обновления графовой карты. Google Cartographer. ORB SLAM. Достоинства хранения карты в виде графа. Ограничения и недостатки графовых SLAM алгоритмов.

8. Существующие датчики для SLAM алгоритмов: камеры, лидары, стереокамеры, всенаправленные камеры. Таксономия и сравнение современных SLAM алгоритмов. Открытые вопросы в задаче SLAM.

9. Использование локализации и задачи SLAM для решения задачи исследования окружения. Задача планирования траектории. Функция Ляпунова. Следование траектории. PIDрегулятор.

10. Открытые и нерешенные вопросы в задаче SLAM. Реальное время. Ограничение алгоритмов SLAM, работающих в реальном времени.

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

### 6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Тема 1. Технологии локализации на известной карте	
2	Тема 2. Локализация на неизвестной карте.	
3	Тема 3. SLAM на базе фильтра Калмана.	
4	Тема 4. Фильтр частиц.	
5		
6		Коллоквиум
7	Тема 5. Легковесный SLAM алгоритм «за 200 строк»	
8	Тема 6. Графовый SLAM алгоритм.	
9	Тема 7. Современные SLAM алгоритмы.	
10	Тема 8. Задача исследования окружения.	
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		Коллоквиум

### 6.4 Методика текущего контроля

#### на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на дифференцированный зачет.

#### на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на дифференцированный зачет.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на



практических занятиях.

Текущий контроль успеваемости предполагает участие в двух коллоквиумах, каждый из которых оценивается по четырехбалльной системе. На коллоквиумах студенты устно отвечают на вопросы преподавателя.

Критерии оценивания:

”Отлично” - студент дает правильные ответы на все вопросы.

”Хорошо” - студент дает правильные ответы на большинство вопросов.

”Удовлетворительно” - студент дает правильные ответы не менее чем на половину вопросов.

”Неудовлетворительно” - студент дает правильные ответы менее чем на половину вопросов.

### **самостоятельной работы студентов**

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

## 7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, IBM-совместимый компьютер Pentium или выше проектор, экран, меловая или маркерная доска	1) Linux Альт Образование 10 и выше; 2) P7-Офис 7 и выше либо LibreOffice 7 и выше
Практические занятия	Аудитория	Количество посадочных мест, оборудованных персональными IBM-совместимыми компьютерами Pentium или выше в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, IBM-совместимый компьютер Pentium или выше проектор, экран, меловая или маркерная доска	1) Linux Альт Образование 10 и выше; 2) P7-Офис 7 и выше либо LibreOffice 7 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Linux Альт Образование 10 и выше; 2) P7-Офис 7 и выше либо LibreOffice 7 и выше

## **8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ**

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

<b>№ п/п</b>	<b>Дата</b>	<b>Изменение</b>	<b>Дата и номер протокола заседания УМК</b>	<b>Автор</b>	<b>Начальник ОМОЛА</b>
1	14.02.2023	Программа актуальна, изменения не требуются.	14.02.2023 г., протокол заседания УМК № 2	Заведующий кафедрой МОЭВМ, к.т.н., доцент, К.В. Кринкин; ассистент, А.Ю. Филатов	