

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики**

А.М. Райгородский

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Искусственный интеллект в космических системах
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Космические технологии
	Физтех-школа Аэрокосмических Технологий
	кафедра математического моделирования и прикладной математики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Дифференцированный зачет

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 90 всего, в том числе:

лекции: 90 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 135 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: М.Г. Широбоков, канд. физ.-мат. наук, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры математического моделирования и прикладной математики
10.04.2024

Аннотация

Курс посвящен современному использованию искусственного интеллекта в космических системах и применению методов машинного обучения к задачам механики космического полета. Студенты знакомятся с базовыми понятиями из области искусственного интеллекта, способами представления знаний, экспертными системами, функциональными языками программирования. Дается краткое изложение математических основ машинного обучения, что включает понятие эмпирического риска и основных методов его минимизации, понятие вероятно почти корректное обучения, VC-размерности. Затрагиваются разнообразные алгоритмы и техники решения задач машинного обучения: регуляризация и устойчивость обучения, техники выбора и контроля модели, стохастический градиентный спуск и др. Внимание уделяется обучению с учителем, без учителя и с подкреплением, причем в последнем случае речь идет о случаях с непрерывным множеством состояний и действий и приложению к задачам управления динамическими системами. Часть курса посвящена глубокому обучению и связанным проблемам. Приводятся примеры решения задач с использованием библиотек машинного обучения на языке Python. Рассматривается множество современных и актуальных задач механики космического полета, использующие методы машинного обучения. Здесь много внимания уделяется методам интеграции управления, навигации и наведения в задачах посадки спускаемого модуля на поверхность небесного тела, аппроксимации оптимальной функции управления орбитальным движением аппарата с малой тягой, методам взаимодействия с некооперирующими спутниками и задаче создания интеллектуальных спутниковых группировок.

Для успешного освоения курса необходимо владеть стандартными курсами высшей математики из бакалавриата – математическим анализом, теорией дифференциальных уравнений, линейной алгеброй, теорией вероятностей, теорией случайных процессов, математической статистикой, а также иметь навыки программирования на языке Python.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами основных понятий и методов в области искусственного интеллекта и изучение способов применения этих понятий и результатов теории в задачах механики космического полета.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области искусственного интеллекта и машинного обучения;
- обучение студентов возможностям применения методов искусственного интеллекта и машинного обучения к задачам проектирования космических систем и задачам механики космического полета;
- формирование более общих и рациональных подходов к выполнению студентами исследований в области анализа и управления движением космических объектов в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- базовые понятия из области искусственного интеллекта;
- математические основы машинного обучения;
- методы машинного обучения для решения задач механики космического полета;
- основные нейросетевые архитектуры, используемые в механике космического полета;
- технологии с искусственным интеллектом для современных космических систем.

уметь:

- ставить задачу машинного обучения в типичных случаях из механики космического полета;
- аргументировать выбор тех или иных алгоритмов обучения;
- проектировать архитектуру космических систем с искусственным интеллектом на основе рассмотренных в курсе примеров.

владеть:

- методами анализа качества машинного обучения;
- навыками использования библиотек для машинного обучения на языке Python;
- культурой поиска и обработки актуальной научной информации (статей, книг) на русском и английском языках в сети Интернет.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Основы искусственного интеллекта	20			30
2	Математические основы методов машинного обучения	20			30
3	Нейросетевые архитектуры	20			15
4	Методы обучения с подкреплением	15			30

5	Приложения ИИ к задачам механики космического полета	15			30
Итого часов		90			135
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 1 (Осенний)

1. Основы искусственного интеллекта

Понятие «искусственный интеллект», история развития области. Функциональная структура системы ИИ. Представление знаний. Экспертные системы. Логическое программирование, функциональные языки. Языки Prolog и Lisp. Нейронные и нейроподобные сети. Машинное обучение, три вида обучения и типичные задачи.

2. Математические основы методов машинного обучения

Различные классификации задач машинного обучения. Общая схема статистического обучения, минимизация эмпирического риска, вероятно почти корректное обучение, достаточные условия обучаемости. VC-размерность. Теорема об отсутствии бесплатных завтраков. Переобучение и недообучение. Регуляризация. Гиперпараметры и контрольные наборы. Оценки, смещение и дисперсия. Оценка максимального правдоподобия. Байесовская оценка. Стохастический градиентный спуск и его модификации. Линейная и нелинейная регрессия. Логистическая регрессия, метод опорных векторов. Метод k-средних, иерархическая кластеризация, понижение размерности. Онлайн-обучение.

3. Нейросетевые архитектуры

Сети прямого распространения. Рекуррентные сети. Сверточные слои. Машины с экстремальным обучением. Универсальные теоремы аппроксимации.

Семестр: 2 (Весенний)

4. Методы обучения с подкреплением

Математические основы методов обучения с подкреплением. Уравнения Беллмана, уравнения оптимальности Беллмана. Классические алгоритмы обучения с подкреплением. Теорема о градиенте стратегии. Методы Монте-Карло, безградиентные методы обучения с подкреплением. Алгоритмы REINFORCE, DDPG, PPO, A2C.

5. Приложения ИИ к задачам механики космического полета

Интеграция управления, навигации и наведения в задачах посадки спускаемого модуля на поверхность небесного тела. Аппроксимация оптимальной функции управления орбитальным движением аппарата с малой тягой. Методы взаимодействия с некооперирующими спутниками. Нейросетевые технологии в задачах обработки спутниковых изображений. Интеллектуальные системы управления стойкостью аппарата к электрофизическим воздействиям. Кластеризация траекторий в окрестности точек либрации. Кластеризация замороженных окололунных орбит. Технологии управления многоспутниковыми группировками. Проактивное управление жизненным циклом космических средств. Современные аппаратные средства для построения интеллектуальных систем бортового комплекса управления.

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

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащённая маркерной доской и набором маркеров, компьютером, подключенным к сети «Интернет», мультимедийным проектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение / пер. с англ. А. А. Слинкина. – 2 изд. испр. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
2. Боровская Е.В. Основы искусственного интеллекта: учебное пособие / Е. В. Боровская, Н. А. Давыдова. – 3 изд. – М.: Лаборатория знаний, 2016.
3. Саттон Р.С., Барто Э.Г. Обучение с подкреплением. - Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2017.

Дополнительная литература

1. Шалев-Шварц Ш., Бен-Давид Ш. Идеи машинного обучения: от теории к алгоритмам / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 436 с.
2. Вьюгин В.В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования. Электронное издание. – М.: МЦНМО, 2014. – 304 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

- Электронная библиотека ИПМ им. М.В. Келдыша РАН: <https://keldysh.ru/e-biblio/>
- Учебные пособия и методические работы, изданные сотрудниками отдела динамики космических систем ИПМ им. М.В. Келдыша РАН: <https://keldysh.ru/microsatellites/education/tutorials.html>
- Базакниг и журналов издательства Springer: <https://www.springer.com/gp/>
- База книг и журналов издательства Elsevier: <https://www.elsevier.com/books-and-journals>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Среда программирования на языке Python.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра математического моделирования и прикладной математики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: М.Г. Широбоков, канд. физ.-мат. наук, ассистент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Искусственный интеллект в космических системах» обучающийся должен:

знать:

- базовые понятия из области искусственного интеллекта;
- математические основы машинного обучения;
- методы машинного обучения для решения задач механики космического полета;
- основные нейросетевые архитектуры, используемые в механике космического полета;
- технологии с искусственным интеллектом для современных космических систем.

уметь:

- ставить задачу машинного обучения в типичных случаях из механики космического полета;
- аргументировать выбор тех или иных алгоритмов обучения;
- проектировать архитектуру космических систем с искусственным интеллектом на основе рассмотренных в курсе примеров.

владеть:

- методами анализа качества машинного обучения;
- навыками использования библиотек для машинного обучения на языке Python;
- культурой поиска и обработки актуальной научной информации (статей, книг) на русском и английском языках в сети Интернет.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к 9 семестру:

1. Дать определение понятию «искусственный интеллект».
2. Привести ключевые этапы развития понятия «искусственный интеллект».
3. Привести основные особенности логических и функциональных языков программирования.
4. Привести основные отличия логических и функциональных языков программирования от других языков.
5. Перечислить основные виды машинного обучения.
6. Привести типичные задачи машинного обучения.
7. Сформулировать общую задачу машинного обучения.
8. Сформулировать условия решения задачи машинного обучения.
9. Дать определение понятию «переобучения» и способы её регистрации на практике.
10. Дать определение понятию «недообучения» и способы её регистрации на практике.

Вопросы к 10 семестру:

1. Перечислить основные способы регуляризации задачи машинного обучения.
2. Перечислить основные алгоритмы решения задач обучения с учителем.
3. Перечислить основные алгоритмы решения задач обучения с подкреплением.
4. Назвать основные особенности глубоких моделей.
5. Назвать специфику обучения голубых моделей.
6. Перечислить основные известные библиотеки для машинного обучения на языке Python.
7. Назвать основные отличия библиотеки для машинного обучения на языке Python.
8. Предложить вариант интеграции управления в задачах посадки спускаемого модуля на поверхность небесного тела.
9. Предложить вариант навигации и наведения в задачах посадки спускаемого модуля на поверхность небесного тела.
10. Привести метод аппроксимации оптимальной функции управления орбитальным движением аппарата с малой тягой.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Дифференцированный зачет проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.