

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы физики
и исследований им. Ландау
А.В. Рогачев**

| | |
|----------------------------|---|
| | Рабочая программа дисциплины (модуля) |
| по дисциплине: | Машинное обучение в задачах геофизики |
| по направлению: | Фотоника и оптоинформатика |
| профиль подготовки: | Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра прикладной геофизики |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: С.А. Тихоцкий, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры прикладной геофизики 17.06.2024

Аннотация

Курс посвящен решению обратных геофизических задач методами машинного обучения. Курс состоит из серии лекций, в которых будет проведен анализ наиболее перспективных и активно применяемых методов машинного обучения в геофизических задачах. Среди рассмотренных методов будут представлены методы машинного обучения в задачах гравиметрии, магнитометрии, акустики, в задачах упругих сред и других областей геофизики.

По итогу курса студенты будут знать, какие области геофизики наиболее и наименее перспективны для применения современных методов анализа данных.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Практическое и теоретическое знакомство с методами применения машинного обучения в задачах геофизики.

Задачи дисциплины

1. Знакомство студентов с возможностью использования нейросетей в задачах геофизики на примере актуальных академических и коммерческих задач.
2. Получение студентами опыта использования методов машинного обучения в задачах геофизики.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в области фотоники и оптоинформатики |
| | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость |
| | ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |
| | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| | ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести | ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов |

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-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные разделы геофизики и соответствующие методы машинного обучения, которые могут быть применены для решения обратных задач.

уметь:

- выбирать подходящие методы, алгоритмы и конфигурации нейронных сетей для решения некоторых задач геофизики.

владеть:

- математическим аппаратом, описывающим геофизические процессы в разведке полезных ископаемых.

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 | Введение | 1 | | | 1 |
| 2 | Машинное обучение в акустике и упругих средах | 3 | 3 | | 3 |
| 3 | Машинное обучение в гравиметрии | 3 | 3 | | 3 |
| 4 | Машинное обучение в магнитометрии | 3 | 3 | | 3 |
| 5 | Машинное обучение в комплексной интерпретации геофизических данных | 3 | 5 | | 3 |
| 6 | Машинное зрение и другие методы автоматизации поиска и разведки полезных ископаемых | 2 | 1 | | 2 |
| Итого часов | | 15 | 15 | | 15 |
| Подготовка к экзамену | | 0 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 45 час., 1 зач.ед. | | | |

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Введение

- Определение машинного обучения в геофизике и его отличие от классических методов анализа данных.

- Различные типы задач, решаемых с помощью машинного обучения в геофизике, такие как классификация, регрессия и кластеризация.
- Обзор различных алгоритмов машинного обучения, используемых в геофизике, включая нейронные сети, случайные леса и методы опорных векторов.
- Важность выбора и подготовки данных для успешного применения методов машинного обучения.

2. Машинное обучение в акустике и упругих средах

- Применение методов машинного обучения для обработки и интерпретации данных сейсмической акустики.
- Создание моделей машинного обучения для прогнозирования параметров упругих сред и определения границ раздела геологических формаций.
- Использование глубоких нейронных сетей для обработки больших объемов данных сейсмических исследований и извлечения скрытых закономерностей.

3. Машинное обучение в гравиметрии

- Применение алгоритмов машинного обучения для коррекции и фильтрации гравиметрических данных для устранения шума и артефактов.
- Разработка моделей машинного обучения для определения геологических структур на основе изменений в гравитационном поле

4. Машинное обучение в магнитометрии

- Применение методов машинного обучения для обработки и анализа магнитных данных с целью определения геологических структур и ресурсов.
- Создание моделей машинного обучения для классификации различных типов магнитных аномалий и их интерпретации.
- Использование глубоких нейронных сетей для распознавания сложных паттернов в магнитных данных и предсказания геологических характеристик.

5. Машинное обучение в комплексной интерпретации геофизических данных

- Интеграция данных разных геофизических методов (сейсмико-акустические, гравиметрические, магнитные и т. д.) для создания комплексных моделей машинного обучения.
- Применение алгоритмов объединения и фьюжона данных для повышения точности интерпретации и обнаружения скрытых структур.
- Разработка методов визуализации и представления результатов комплексной интерпретации геофизических данных для лучшего понимания геологических процессов.

6. Машинное зрение и другие методы автоматизации поиска и разведки полезных ископаемых

Применение методов машинного зрения, таких как компьютерное зрение и обработка изображений, для автоматического обнаружения и классификации полезных ископаемых на основе геологических образцов и геофизических данных.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Фонд базовой кафедры:

1. Zhang, W., Ching, J., Chee Goh, A.T., Leung, A.Y.F., Big Data and Machine Learning in Geoscience and Geoengineering: Introduction,
2. Dentith, M., & Mudge, S. (2014). Geophysics for the Mineral Exploration Geoscientist. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/CBO9781139024358

Дополнительная литература

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

Не используются

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

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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 и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

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

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|----------------------------|---|
| по направлению: | Фотоника и оптоинформатика |
| профиль подготовки: | Фотоника, квантовые технологии и двумерные материалы Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра прикладной геофизики |
| курс: | <u>1</u> |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: С.А. Тихоцкий, д-р физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области фотоники и оптоинформатики |
| ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи | ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в области фотоники и оптоинформатики |
| | ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость |
| | ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |
| | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| | ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений |
| 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-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов |
| | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Машинное обучение в задачах геофизики» обучающийся должен:

знать:

- основные разделы геофизики и соответствующие методы машинного обучения, которые могут быть применены для решения обратных задач.

уметь:

- выбирать подходящие методы, алгоритмы и конфигурации нейронных сетей для решения некоторых задач геофизики.

владеть:

- математическим аппаратом, описывающим геофизические процессы в разведке полезных ископаемых.

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 прошлого занятия.

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

Перечень контрольных вопросов.

1. В чем заключается основное отличие машинного обучения от классических методов анализа данных в геофизике?
2. Какие преимущества может предоставить применение методов машинного обучения в анализе геофизических данных? Приведите конкретные примеры.
3. Какие методы машинного обучения можно использовать для интерпретации акустических данных в геофизике? Какие задачи можно решать с их помощью?
4. В чем состоит роль машинного обучения в анализе гравиметрических данных? Какие шаги необходимо предпринять для успешного применения машинного обучения в этой области?
5. Какие методы машинного обучения можно применить для автоматизации поиска и разведки полезных ископаемых? Какие преимущества они могут предоставить по сравнению с традиционными методами?
6. Как работает метод главных компонент? В чем его преимущества и недостатки?
7. Как работает факторный анализ? В чем его преимущества и недостатки?
8. Какие архитектуры нейросетей подходят для работы с акустическими данными? Почему?
9. Какие методы предварительной обработки данных используются при подготовке данных для нейронных сетей?
10. В чем преимущества и недостатки использования синтетических данных для обучения нейронных сетей?

Примеры контрольных заданий.

1. Какой метод машинного обучения наиболее подходит для решения задачи классификации геологических формаций на основе сейсмических данных: (а) нейронные сети, (б) случайные леса, (с) метод опорных векторов? Обоснуйте свой ответ.
2. Предоставлены гравиметрические данные для обнаружения подземного месторождения. Каким образом можно применить алгоритмы машинного обучения для определения его местоположения?
3. Вам предоставлен набор данных сейсмических сигналов, полученных при поиске месторождения. Какие виды нейросетей можно использовать? Почему?
4. Сравните эффективность нейронных сетей и методов опорных векторов в задаче интерпретации магнитных данных для обнаружения полезных ископаемых.
5. Как можно объединить данные различных геофизических методов (например, гравиметрии и магнитометрии) в единую нейросетевую модель для более точного решения обратных задач?
6. Примените метод главных компонент для снижения размерности геофизических данных. Визуализируйте результаты на двумерной плоскости и интерпретируйте полученные данные.
7. Как обрабатывать погрешности в геофизических данных при обучении и использовании нейронных сетей?
8. В чем преимущества и недостатки использования “синтетических” данных для обучения нейронных сетей в задачах геофизики? К чему приведет их использование?
9. Приведите пример, когда различные распределения плотности могут приводить к одним и тем же гравитационным полям.
10. Как обучать нейронную сеть для решения обратных задач при неоднозначности решения?

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

Дифференцированный зачёт проводится в формате устной беседы с преподавателем на озвученные им темы. При проведении зачёта обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.