

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Факультет вычислительной математики и кибернетики

УТВЕРЖДАЮ
декан факультета
вычислительной математики и кибернетики
И.А. Соколов /
2021г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Алгебраические методы в задачах сжатия, обработки и передачи информации

Уровень высшего образования:

магистратура

Направление подготовки / специальность:

01.04.02 "Прикладная математика и информатика" (3++)

Направленность (профиль) ОПОП:

**Перспективные методы искусственного интеллекта
в сетях передачи и обработки данных**

Форма обучения:

очная

Рабочая программа рассмотрена и утверждена
на заседании Ученого совета факультета ВМК
(протокол № 7, от 29 сентября 2021 года)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы магистратуры в редакции приказа МГУ от 21 декабря 2021 года No 1404.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

дисциплина относится к базовой части ОПОП ВО.

Дисциплина (модуль) относится к части дисциплин основной профессиональной образовательной программы, формируемых участниками образовательных отношений, изучается в 3-м семестре.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Изучение дисциплины базируется на освоении знаний о принципах работы операционных систем, традиционных компьютерных сетей, программно-конфигурируемых компьютерных сетей в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата по укрупненным группам направлений и специальностей 01.00.00 «Математика и механика», 02.00.00 «Компьютерные и информационные науки» и другим направлениям подготовки бакалавриата.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю):

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
Формируемые компетенции (код и наименование компетенции)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование индикатора)	Результаты обучения (знания, умения)
ПК-3. Способен разрабатывать и применять методы и алгоритмы машинного обучения для решения задач	ПК-3.1. Ставит задачи по разработке или совершенствованию методов и алгоритмов для решения комплекса задач предметной области	ПК-3.1. З-1. Знает классы методов и алгоритмов машинного обучения ПК-3.1. У-1. Умеет ставить задачи и разрабатывать новые методы и алгоритмы машинного обучения
	ПК-3.2. Руководит исследовательской группой по разработке или совершенствованию методов и алгоритмов для решения комплекса задач предметной области	ПК 3.2. З-1. Знает методы и критерии оценки качества моделей машинного обучения ПК 3.2. У-1. Умеет определять критерии и метрики оценки результатов моделирования при построении систем искусственного интеллекта в исследуемой области

	ПК-3.3. Разрабатывает унифицированные и обновляемые методологии описания, сбора и разметки данных, а также механизмы контроля за соблюдением указанных методологий	ПК-3.3. З-1. Знает унифицированные и обновляемые методологии описания, сбора и разметки данных, а также механизмы контроля за соблюдением указанных методологий ПК-3.3. У-1. Умеет разрабатывать унифицированные и обновляемые методологии описания, сбора и разметки данных, а также механизмы контроля за соблюдением указанных методологий
ПК-5. Способен руководить проектами по созданию, поддержке и использованию системы искусственного интеллекта на основе нейросетевых моделей и методов	ПК-5.1. Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленной задачи	ПК-5.1. З-1. Знает возможности современных инструментальных средств и систем программирования для решения задач машинного обучения ПК-5.1. У-1. Умеет проводить сравнительный анализ и осуществлять выбор инструментальных средств для решения задач машинного обучения
	ПК-5.2. Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств	ПК-5.2. З-1. Знает функциональность современных инструментальных средств и систем программирования в области создания моделей и методов машинного обучения ПК-5.2. З-2. Знает принципы построения систем искусственного интеллекта, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта, методы интеллектуального планирования экспериментов ПК-5.2. У-1. Умеет применять современные инструментальные средства и системы программирования для разработки новых методов и моделей машинного обучения ПК-5.2. У-2. Умеет руководить выполнением коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 з.е., в том числе 72 часа составляет контактная работа с преподавателем – 36 академических часов занятий лекционного типа, 36 академических часов занятий практического типа, 72 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

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

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа			
Тема 1. Необходимые понятия и факты линейной алгебры	6	6	12	24	опрос
Тема 2. Связь теории графов и линейной алгебры	6	6	12	24	опрос
Тема 3. Тензорные разложения и сжатие многомерных данных. Основные свойства	8	8	16	32	опрос
Тема 4. Популяционная динамика и образование сетевых сообществ	8	8	16	32	опрос
Тема 5. Идентификация параметров моделей передачи информации	8	8	16	32	опрос
Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—			—
Промежуточная аттестация (экзамен)					
Итого	36	36	72	144	—

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Необходимые понятия и факты линейной алгебры	Напоминание о некоторых понятиях линейной алгебры: ранг матрицы, собственные значения, нормальные матрицы, эрмитовы матрицы, ортогональные матрицы, нормы и метрики, сингулярное разложение матрицы, линейная задача наименьших квадратов, библиотека numpy
2.	Тема 2. Связь теории графов и линейной алгебры	Пересчёт количества маршрутов через степень матрицы, работа с циклами, переход от матрицы инцидентности к матрице связности, задача ранжирования и алгоритм PageRank, форматы хранения разреженных матриц (ijk, CSR), реализация вычислительных процедур на языке Python
3.	Тема 3. Тензорные разложения и сжатие многомерных данных. Основные свойства	Разложения с разделенными переменными и их связь с малоранговыми тензорными разложениями. Каноническое тензорное разложение, разложение в формате тензорного поезда. Примеры тензоров с известными значениями рангов различных тензорных разложений. Пояснения взаимосвязей между различными видами тензорных разложений.
4.	Тема 4. Популяционная динамика и образование сетевых сообществ	Описание процесса возникновения сетевых связей в сообществах, дискретный стохастический вид, переход в ОДУ через предельный переход, анализ сложности решения полученного класса ОДУ, циркулянтные матрицы, Теплицевы матрицы, быстрое преобразование Фурье, быстрый алгоритм вычисления правой части модельной системы роста кластеров/сообществ с использованием малоранговых матричных разложений и FFT, стохастический алгоритм имитационного моделирования процесса роста кластеров/сообществ, критическое время перехода при образовании сверхсвязного кластера
5.	Тема 5. Идентификация параметров моделей передачи информации	Разложение сигнала в ряд Вольтерра, сложность идентификации параметров модели, сжатие информации и поиск разреженных решений, дискретные задачи оптимизации, жадные алгоритмы решения дискретных задач оптимизации, методы глобальной оптимизации – метод имитации отжига, глобальная оптимизация на основе тензорных поездов, безградиентная оптимизация методами Розенброка и Нелдера-Мида.

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания (в отсутствие утвержденных соответствующих локальных нормативных актов на факультете)

Вопросы к опросу

1. Методы ускорения получения малоранговых матричных разложений (matrix cross sampling, randomized svd)
2. Методы получения неотрицательных матричных разложений
3. Алгоритм Simrank в качестве альтернативы алгоритму Pagerank
4. Спектральная теория графов, какие характеристики графа можно получить из спектра матрицы связности
5. Метод ALS получения канонического тензорного разложения и его реализация
6. Использование малоранговых разложений для быстрых вычислений
7. Метод глобальной чувствительности Соболя на основе разложения ANOVA и альтернатива ему в виде представления ANCOVA
8. Ускорение вычислений и профилировка вычислительного кода в python: numba, cython, ctypes, pybind11
9. Получение разложения Таккера, связь разложения с математической статистикой
10. Тензорный поезд и рекуррентные нейронные сети
11. Идеология MUSCO (Multistage Compression) сжатия нейронных сетей с помощью тензорных разложений
12. Применение разреженного канонического разложения в задачах multidimensional digital pre-distortion
13. Применение малоранговых матричных и тензорных разложений при решении уравнений популяционного баланса
14. Малоранговые многомерные функции примеры и взаимосвязи между разложениями

15. Robust PCA через SVD

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

Вопросы к экзамену:

1. Пересчёт количества маршрутов через степень матрицы, работа с циклами, переход от матрицы инцидентности к матрице связности, задача ранжирования и алгоритм Pagerank, форматы хранения разреженных матриц (ijk, CSR).
2. Разложения с разделенными переменными и их связь с малоранговыми тензорными разложениями.
3. Каноническое тензорное разложение, разложение в формате тензорного поезда.
4. Примеры тензоров с известными значениями рангов различных тензорных разложений. Пояснения взаимосвязей между различными видами тензорных разложений.
5. Описание процесса возникновения сетевых связей в сообществах, дискретный стохастический вид, переход в ОДУ через предельный переход, анализ сложности решения полученного класса ОДУ, циркулянтные матрицы.
6. Теплицевы матрицы, быстрое преобразование Фурье, быстрый алгоритм вычисления правой части модельной системы роста кластеров/сообществ с использованием малоранговых матричных разложений и FFT.
7. Стохастический алгоритм имитационного моделирования процесса роста кластеров/сообществ, критическое время перехода при образовании сверхсвязного кластера
8. Разложение сигнала в ряд Вольтерра, сложность идентификации параметров модели, сжатие информации и поиск разреженных решений, дискретные задачи оптимизации.
9. Жадные алгоритмы решения дискретных задач оптимизации.
10. Методы глобальной оптимизации – метод имитации отжига.
11. Глобальная оптимизация на основе тензорных поездов.
12. Безградиентная оптимизация методами Розенброка и Нелдера-Мида.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
Знания	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания

<i>(виды оценочных средств: опрос, тесты)</i>				
Умения <i>(виды оценочных средств: практические задания)</i>	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) <i>(виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)</i>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная литература

1. Матвеев С.А. Параллельная реализация быстрого метода решения уравнений агрегационно-фрагментационной кинетики типа уравнений Смолуховского. Вычислительные методы и программирование. 2015;16(3):360-8.
2. Тыртышников Е.Е., Основы алгебры, физматлит, 2017

Дополнительная литература

1. Галкин, В. А. , Анализ математических моделей: системы законов сохранения, уравнения Больцмана и Смолуховского, 2009
2. Horn, Roger A., and Charles R. Johnson. Matrix analysis. Cambridge university press, 2012.
3. Oseledets, I. V. (2011). Tensor-train decomposition. SIAM Journal on Scientific Computing, 33(5), 2295-2317.
4. Харари, Фрэнк. Теория графов. Издательство " Мир, 1973.
5. Тыртышников, Е. Е. "Матричный анализ и линейная алгебра. Учебное пособие." (2007).
6. Тыртышников, Е. Е. (2007). Методы численного анализа

7. Документация библиотеки Intel MKL
8. Документация библиотеки Numpy
9. Документация библиотеки SALib
10. Kolda, T. G., & Bader, B. W. (2009). Tensor decompositions and applications. *SIAM review*, 51(3), 455-500.
11. Matveev SA, Smirnov AP, Tyrtysnikov EE. A fast numerical method for the Cauchy problem for the Smoluchowski equation. *Journal of Computational Physics*. 2015 Feb 1;282:23-32.
12. Krapivsky PL, Redner S, Ben-Naim E. A kinetic view of statistical physics. Cambridge University Press; 2010 Nov 18.
13. Ильин ВА, Ким ГД. Линейная алгебра и аналитическая геометрия. М.: Изд-во Моск. ун-та; 1998.
14. Тыртышников ЕЕ. Методы численного анализа. Академия; 2007.
15. Kolda TG, Bader BW. Tensor decompositions and applications. *SIAM review*. 2009 Aug 5;51(3):455-500.
16. "Matveev SA, Zheltkov DA, Tyrtysnikov EE, Smirnov AP. Tensor train versus Monte Carlo for the multicomponent Smoluchowski coagulation equation. *Journal of Computational Physics*. 2016 Jul 1;316:164-79.
17. Brilliantov NV, Pöschel T. Kinetic theory of granular gases. Oxford University Press; 2010 Nov 11.
18. Leyvraz F. Scaling theory and exactly solved models in the kinetics of irreversible aggregation. *Physics Reports*. 2003 Aug 31;383(2):95-212.
19. Эффективный численный метод численного решения математической модели переноса коагулирующих частиц / Р. Р. Загидулин, А. П. Смирнов, С. А. Матвеев, Е. Е. Тыртышников // Вестник Московского университета. Серия 15: Вычислительная математика и кибернетика. — 2017. — Т. 41, № 4. — С. 28–34.

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программное обеспечение для подготовки слайдов лекций MS Power Point
2. Программное обеспечение для создания и просмотра pdf-документов Adobe Reader
3. Издательская система LaTeX
4. Операционная система ALT Linux MATE Starterkit 9 лицензия GPL
5. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. <http://elibrary.ru>
2. www.scopus.com

3. Программный пакет <https://github.com/oseledets/>

7.5. Описание материально-технического обеспечения.

Образовательная организация, ответственная за реализацию данной Программы, располагает соответствующей материально -технической базой, включая современную вычислительную технику, объединенную в локальную вычислительную сеть, имеющую выход в Интернет.

Используются специализированные компьютерные классы, оснащенные современным оборудованием. Материальная база соответствует действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивает проведение всех видов занятий (лабораторной, практической, дисциплинарной и междисциплинарной подготовки) и научно-исследовательской работы обучающихся, предусмотренных учебным планом.

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

Доцент, к.ф.-м.н. Матвеев Сергей Александрович