

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:

Распределенные алгоритмы: принципы устройства и применения

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 (модуль) относится к части дисциплин основной профессиональной образовательной программы, формируемых участниками образовательных отношений.

Дисциплина входит в магистерскую образовательную программу «Перспективные методы искусственного интеллекта в сетях передачи и обработки данных» как дисциплина по выбору, изучается в 2-м семестре.

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

Изучение дисциплины базируется на освоении знаний по дискретной математике, компьютерным сетям, системам программирования 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-8. Способен разрабатывать и модернизировать программное и аппаратное обеспечение технологий и систем искусственного интеллекта с учетом требований информационной безопасности в различных предметных областях	ПК-8.1. Разрабатывает программное и аппаратное обеспечение технологий и систем искусственного интеллекта для решения профессиональных задач с учетом требований информационной безопасности в различных предметных областях ПК-8.2. Модернизирует программное и аппаратное обеспечение технологий и систем искусственного интеллекта для решения профессиональных задач с учетом требований информационной безопасности в различных предметных областях	ПК-8.1. З-1. Знает принципы построения систем компьютерного зрения, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта на основе сквозной цифровой субтехнологии «Компьютерное зрение» ПК-8.1. У-1. Умеет решать задачи по выполнению коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе сквозной цифровой субтехнологии «Компьютерное зрение» со стороны заказчика ПК-8.2. З-1. Знает принципы построения систем обработки естественного языка, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта на основе сквозной цифровой субтехнологии «Обработка естественного языка» ПК-8.2. У-1. Умеет решать задачи по выполнению коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе сквозной цифровой

		<p>субтехнологии «Обработка естественного языка» со стороны заказчика ПК-8.3. 3-1. Знает фундаментальные правила построения рекомендательных систем и систем поддержки принятия решений, основанных на интеллектуальных принципах, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта на основе сквозной цифровой субтехнологии «Рекомендательные системы и системы поддержки принятия решений» ПК-8.3. У-1. Умеет решать задачи по выполнению коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе сквозной цифровой субтехнологии «Рекомендательные системы и системы поддержки принятия решений» со стороны заказчика</p>
--	--	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 з.е., в том числе 72 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем – 36 академических часов занятий лекционного типа, 36 академических часов занятий практического типа. 36 академических часов 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	Все 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. Назначение, устройство и основные алгоритмические задачи, возникающие при проектировании распределенных вычислительных систем.	6	6	6	18	контрольная работа
Тема 2. Коммуникационные протоколы	10	10	10	30	контрольная работа
Тема 3. Основные распределенные алгоритмы	10	10	10	30	контрольная работа
Тема 4. Метод обеспечения отказоустойчивости распределенных систем	10	10	10	30	контрольная работа
Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—			—
Промежуточная аттестация (экзамен)					
Итого	36	36	36	108	—

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Назначение, устройство и основные алгоритмические задачи, возникающие при проектировании распределенных вычислительных систем	<p>Примеры распределенных систем (компьютерные сети, локальные и глобальные сети, многопроцессорные компьютеры).</p> <p>Характерные особенности распределенных систем. Архитектура распределенных систем. Стандарт ISO Open System Interaction. Алгоритмические проблемы организации вычислений распределенных систем. Особенности распределенных алгоритмов. Системы переходов. Системы с синхронным и асинхронным обменом сообщениями. Свойство справедливости выполнений системы. Зависимые и независимые события. Причинно-следственный порядок событий. Эквивалентность выполнений. Вычисления. Логические часы.</p>
2.	Тема 2. Коммуникационные протоколы	<p>Коммуникационные протоколы. Ошибки, возникающие при передаче сообщений. Симметричный протокол раздвижного окна: устройство протокола и обоснование его корректности. Протокол альтернирующего бита. Коммуникационные протоколы, использующие таймеры: описание устройства и обоснование корректности. Задача маршрутизации. Алгоритмы построения кратчайших путей в графе. Алгоритм Флойда-Уоршалла. Алгоритм Туэга. Алгоритм Мерлина-Сигала. Алгоритм Чанди-Мизры. Алгоритм Nchange.</p>
3.	Тема 3. Основные распределенные алгоритмы	<p>Волновые алгоритмы: определение, основные свойства, область применения. Древесный алгоритм. Алгоритм эха. Фазовый алгоритм. Алгоритм Финна. Алгоритмы обхода. Распределенный обход в глубину. Алгоритмы обхода Авербаха и Сидона. Задача избрания лидера и ее взаимосвязь с волновыми алгоритмами. Избрание лидера на кольцах: алгоритм Ченя-Робертса, оптимальный алгоритм Патерсона-Долева-Клейва-Роде. Избрание лидера в произвольных сетях: эффект угасания, алгоритм Галладжера-Хамблента-Спиры. Алгоритм Кораха-Каттена-Морана. Задача обнаружения завершения вычисления и ее взаимосвязь с задачей избрания лидера и волновыми алгоритмами. Алгоритм Дейкстры-Шолтена. Алгоритм Шави-Франчеца. Алгоритм Сафры. Алгоритм возвращения кредитов. Алгоритм Раны. Применение алгоритмов обнаружения завершения</p>

		вычислений для выявления блокировки вычислений. Задача сохранения моментального состояния. Алгоритм Чанди-Лампорта. Алгоритм Лай-Янга.
4.	Тема 4. Метод обеспечения отказоустойчивости распределенных систем	Задача обеспечения отказоустойчивости распределенных систем. Невозможность построения робастных асинхронных систем. Задача о византийских генералах и ее решение. Синхронные робастные алгоритмы принятия решения. Использование криптографических примитивов для повышения отказоустойчивости. Стабилизирующиеся алгоритмы. Пример Дейкстры. Общие принципы построения стабилизирующихся алгоритмов.

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 для контрольных работ

1. Покажите, что в <<наивном>> протоколе передачи данных с 4 сообщениями возможно дублирование или потеря сообщений ввиду того, что NCP A вынуждена считаться с возможностью выхода из строя NCP B.
2. Постройте простой протокол с двумя обходами сообщениями, который никогда не допускает потери сообщений (хотя может дублировать сообщения). Докажите корректность этого протокола (т.е., что построенный протокол никогда не теряет ни одного сообщения).
3. Докажите, что отношение причинно-следственной зависимости между событиями выполнения является отношением частичного порядка? При каких условиях это отношение будет являться отношением полного (линейного) порядка?
4. Докажите, что существуют такие распределенные системы, которые не способны вычислять функцию глобальных часов.
5. Можно ли построить такую функцию часов $\theta(x)$, которая могла быть вычислена распределенным алгоритмом и для любого вычисления и для любых двух событий a и b в этом вычислении обладала свойством $a < b \Leftrightarrow \theta(a) < \theta(b)$?
6. Верно ли, что утверждение, которое является истинным в каждой конфигурации любого выполнения, обязательно является инвариантом?
7. Приведите пример такой системы переходов S и такого утверждения P , что P всегда истинно в системе S , но при этом не является инвариантом S .
8. Предположим, что P_1 и P_2 — это инварианты системы S . Докажите, что $(P_1 \vee P_2)$ и $(P_1 \wedge P_2)$ также являются инвариантами.
9. Покажите, что симметричный протокол раздвижного окна не удовлетворяет требованию неизбежной доставки сообщения, если из двух допущений справедливости $F1$ и $F2$ выполняется только допущение $F2$.
10. Будет ли симметричный протокол раздвижного окна удовлетворять требованию неизбежной доставки сообщения, если будет выполняться только допущение $F1$?
11. Почему никакой протокол не может предоставить гарантии того, что слово будет доставлено по назначению за ограниченный срок времени?
12. В протоколе с таймерами отправитель может занести в отчет слово как возможно утраченное, в то время как это слово было благополучно доставлено получателю. Опишите выполнение этого протокола, в ходе которого происходит подобный эффект.
13. Предположим, что в связи с выходом из строя часового механизма, получатель не может закрыть сеанс связи вовремя. Опишите вычисление протокола с таймерами, в ходе которого слово будет утрачено, но отправитель не сможет отметить это в отчете.
14. Опишите такое вычисление протокола с таймерами, в ходе которого получатель открывает сеанс связи после получения пакета с порядковым номером большим нуля.

15. Допустим, что таблицы маршрутизации так обновляются после каждого изменения топологической структуры сети, что они остаются ациклическими по ходу обновления. Может ли это служить гарантией того, что пакеты всегда доставляются по адресу даже в том случае, когда сеть претерпевает бесконечно большое количество топологических изменений?
16. Докажите, что ни один алгоритм маршрутизации не способен обеспечить доставку пакетов по адресу, если сеть испытывает непрерывные изменения топологии.
17. Зачем в алгоритме маршрутизации Туэга нужно передавать в каждом сообщении имя текущей опорной вершины w ?
18. Можно ли исключить из алгоритма Туэга отправку сообщений (n, y, w) (n, y, w) ? Будет ли модифицированный таким образом алгоритм корректным?
19. В описании алгоритма Чанди--Мисры не указывается, до каких пор должно проводиться вычисление маршрутов в каждом процессе. Докажите, в любой конфигурации любого выполнения алгоритма Чанди--Мисры промежуточные таблицы маршрутизации являются ациклическими. Что нужно добавить к алгоритму Чанди--Мисры, для того чтобы каждый процесс мог узнать, что построение таблиц маршрутизации в сети завершено.
20. Привести пример RIF алгоритма для систем с синхронным обменом сообщениями, который не позволяет проводить вычисление точных нижних граней
21. Покажите, что в каждом вычислении древесного алгоритма в точности два процесса принимают решение.
22. Предположим, что есть желание использовать волновой алгоритм в сети, в которой возможно дублирование сообщений. Какие изменения нужно внести в алгоритм эха? Какие изменения нужно внести в алгоритм Финна?
23. Адаптируйте алгоритм эха для вычисления суммы входных данных всех процессов.
24. Докажите, что каждое вычисление алгоритма Тарри задает в сети остовное дерево.
25. Приведите пример сети, для которой остовное дерево, построенное алгоритмом Тарри, не является деревом поиска в глубину.
26. Почему наименьший отличительный признак может быть вычислен процессами по ходу одной волны?
27. Доказать, что алгоритм избрания лидера на основе задачи отыскания экстремумов является волновым алгоритмом, если событие избрания процесса лидером рассматривать как событие решения.
28. Как можно провести выборы лидера в произвольной сети при помощи фазового алгоритма?
29. Как можно ли провести выборы лидера в произвольной сети при помощи алгоритма Финна?
30. Зависит ли корректность алгоритма Ченя--Робертса от очередности передачи сообщений в каналах?
31. Приведите начальную конфигурацию для алгоритма Петерсона/Долева-Клейва-Роде, при которой алгоритму действительно потребуется провести $\log N + 1$ туров.
32. Приведите также начальную конфигурацию, при которой этому алгоритму Петерсона/Долева-Клейва-Роде потребуется всего два тура, независимо от числа инициаторов.
33. Может ли алгоритм Петерсона/Долева--Клейва--Роде завершить работу за один тур?
34. Докажите следующее утверждение. Всякий алгоритм избрания лидера на основе сравнения для произвольных сетей имеет сложность (и в среднем, и в наихудшем случае) не меньшую, чем $\Omega(N \log N)$.

35. Докажите следующее утверждение. Всякий децентрализованный волновой алгоритм для произвольных сетей без предварительной осведомленности о соседях имеет сложность по числу обменов сообщениями, не меньшую чем $\Omega(N \log N)$.
36. Разработайте алгоритм избрания лидера в произвольной сети на основе эффекта угасания, примененного к волновому алгоритму эха.
37. Разработайте алгоритм избрания лидера в кольцевой сети на основе эффекта угасания, примененного к волновому алгоритму в кольцах. Сравните построенный Вами алгоритм с алгоритмом Ченя--Робертса. В чем состоит сходство и отличие этих двух алгоритмов?
38. Покажите, что для всякого m существует такое базовое вычисление, в котором происходит обмен m базовыми сообщениями, и при этом алгоритм Дейкстры-Фейджена-ванГастерена совершает обмен $m(N-1)$ контрольными сообщениями.
39. В алгоритме Раны предполагается, что процессы наделены отличительными признаками. Предположим теперь, что все процессы анонимны, но обладают возможностью отправлять сообщения своим последователям по кольцу, и при этом число процессов заранее известно. Внесите в алгоритм необходимые изменения, позволяющие ему работать в рамках таких допущений.
40. Обоснуйте корректность алгоритма Раны на основе инвариантов этого алгоритма.
41. Внесите изменения в алгоритм Раны так, чтобы для передачи сообщений можно было использовать произвольный волновой алгоритм, а не только кольцевой алгоритм.
42. Дайте полное описание алгоритма Лая-Янга, включив в него механизм, принуждающий завершать построение моментальных состояний и состояний каналов.
43. Докажите, что если более $(N+t)/2$ процессов начинают выполнение алгоритма консенсуса, робастного относительно выхода процессов из строя, имея на входе значение v , то решение v будет принято по окончании третьего тура.
44. Докажите, что внешне планарные графы можно раскрасить в три цвета. Постройте стабилизирующийся алгоритм вычисления правильной раскраски внешне планарных графов в три цвета.
45. Постройте стабилизирующийся алгоритм вычисления размера сети.

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

Вопросы к экзамену

1. Примеры распределенных систем (компьютерные сети, локальные и глобальные сети, многопроцессорные компьютеры).
2. Характерные особенности распределенных систем. Архитектура распределенных систем.
3. Стандарт ISO Open System Interaction.
4. Алгоритмические проблемы организации вычислений распределенных систем.
5. Особенности распределенных алгоритмов.
6. Системы переходов как математические модели распределенных алгоритмов.
7. Системы с синхронным и асинхронным обменом сообщениями.
8. Свойство справедливости выполнений системы.

9. Зависимые и независимые события.
10. Причинно-следственный порядок событий.
11. Инварианты вычислений. Методы доказательства корректности вычислений распределенных систем.
12. Вполне упорядоченные множества. Метод нормировки доказательства завершаемости вычислений распределенных систем.
13. Эквивалентность выполнений. Вычисления.
14. Логические часы.
15. Коммуникационные протоколы. Ошибки, возникающие при передаче сообщений.
16. Симметричные протокол раздвижного окна: устройство протокола.
17. Обоснование корректности симметричного протокола раздвижного окна. Протокол альтернирующего бита.
18. Коммуникационные протоколы, использующие таймеры: описание устройства и обоснование корректности.
19. Задача маршрутизации. Алгоритмы построения кратчайших путей в графе.
20. Алгоритм Флойда-Уоршалла.
21. Алгоритм Туэга.
22. Алгоритм Мерлина-Сигала.
23. Алгоритм Чанди-Мизры.
24. Алгоритм Nchange.
25. Волновые алгоритмы: определение, основные свойства, область применения.
26. Древесный алгоритм.
27. Алгоритм эха.
28. Фазовый алгоритм.
29. Алгоритм Финна.
30. Алгоритмы обхода. Распределенный обход в глубину. Алгоритмы обхода Авербаха и Сидон.
31. Задача избрания лидера. Избрание лидера на кольцах: алгоритм Ченя-Робертса, оптимальный алгоритм Патерсона–Долева-Клейва-Роде.
32. Избрание лидера в произвольных сетях: алгоритм Галладжера-Хамблета-Спиры, алгоритм Кораха-Каттена-Морана.
33. Задача обнаружения завершения вычисления. Алгоритм Дейкстры-Шолтена. Алгоритм Шави-Франчеза. Алгоритм возвращения кредитов. Алгоритм Раны. Применение алгоритмов обнаружения завершения вычислений для выявления блокировки вычислений.
34. Задача сохранения моментального состояния. Алгоритм Чанди-Лампорта. Алгоритм Лаи-Янга.
35. Задача обеспечения отказоустойчивости распределенных систем.
36. Невозможность построения робастных асинхронных систем.
37. Протоколы консенсуса, робастные относительно выхода процессов из строя.
38. Робастные в византийской модели неисправностей протоколы консенсуса
39. Алгоритм широковещательного распространения информации при наличии неисправностей византийского типа
40. Синхронные робастные алгоритмы принятия решения.
41. Использование криптографических примитивов для повышения отказоустойчивости.
42. Стабилизирующиеся алгоритмы.

43. Пример Дейкстры.

44. Общие принципы построения стабилизирующихся алгоритмов.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
Знания (виды оценочных средств: опрос, тесты)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (виды оценочных средств: практические задания)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)	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. Таненбаум Э, Уэзеролл Д. Компьютерные сети. — Питер, 2012. — 960 с.

Дополнительная литература

1. Gerard. Tel. Introduction to Distributed Algorithms. Cambridge University Press. 2000. (русск. пер. Ж. Тель. Введение в распределенные алгоритмы, изд-во МЦНМО, 2009 г., 616 с.)

2. Lynch, Nancy (1996). Distributed Algorithms.— San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers. — 1996. – 904 p.

3. Wan Fokkink. Distributed algorithms: an intuitive approach. – MIT Press. – 2013. -248 p.

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

1. Операционная система Ubuntu 18.04.

2. Операционная система ALT Linux MATE Starterkit 9 лицензия GPL

3. Программный продукт Python 3.5.1 (64-bit) Python Software Foundation

4. Операционная система Microsoft Windows 7 корпоративная академическая лицензия

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.openet.ru> - Российский портал открытого образования

3. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. mk.cs.msu.ru

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.

д.ф.- м.н., профессор Захаров Владимир Анатольевич