

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала МГУ в г. Сарове



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Методы моделирования эволюционных, роевых и многоагентных систем и процессов

Уровень высшего образования:

магистратура

Направление подготовки / специальность:

02.04.02 "Фундаментальная информатика и информационные технологии" (3++)

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:

Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика

Форма обучения:

очная

Саров 2022

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 02.04.02 "Фундаментальная информатика и информационные технологии" программы магистратуры - приказ МГУ 30 августа 2019 года № 1054 (в редакции приказа МГУ от 11 сентября 2019 года № 1109)

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Методы моделирования эволюционных, роевых и многоагентных систем и процессов

2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в магистратуре.

3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление 02.04.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии». Направленность (профиль) «Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика».

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в вариативную часть магистерской образовательной программы «Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика», изучается в 4-ом семестре.

5 АННОТАЦИЯ

Курс «Методы моделирования эволюционных, роевых и многоагентных систем и процессов» посвящен описанию классических и современных распределенных вычислительных моделей и алгоритмов – клеточных автоматов, нейронных сетей, генетических алгоритмов, методов роевого интеллекта и т.д. Большая часть рассматриваемого в курсе материала относится к таким актуальным в настоящее время научным направлениям, как естественные вычисления (Natural Computing) и биологически инспирированные вычисления (Bio-Inspired Computing), ориентированных, в частности, на исследование вычислительных возможностей различных природных (в том числе физических и биологических) систем. Популярность рассматриваемых в курсе моделей, их высокая вычислительная сложность и высокая степень встроенного параллелизма определяют широкий интерес к эффективной параллельной реализации данных моделей на современных массивных параллельных вычислительных системах. Теоретические занятия по курсу сопровождаются двумя видами практикума – построение и визуализация моделей и алгоритмов в системе многоагентного моделирования NetLogo и разработка параллельных приложений для рассматриваемых моделей с использованием технологии параллельного программирования MPI.

6. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Результаты обучения
<p>УК-3. Способен разрабатывать, реализовывать и управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, предусматривать и учитывать проблемные ситуации и риски проекта.</p>	<p>Знать организационные структуры проектной деятельности; методы анализа информации. Уметь: работать с нормативно-правовыми и научными источниками информации. Владеть: системой понятий, характеризующих отличия в системах научных гипотез и научных методов; навыками и готовностью к самостоятельному выполнению заданий.</p>
<p>ОПК-3. Способен создавать и анализировать математические и информационные модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные результаты и создавать инновационные методы решения задач в области информатики и математического моделирования.</p>	<p>Знать: математические и информационные модели, необходимые для решения задач, связанных с реализацией профессиональной деятельности. Уметь: применять математические и информационные модели для решения задач, связанных с реализацией профессиональной деятельности с учетом их ограничений и границы применимости. Владеть: способность создавать инновационные методы решения задач, связанных с реализацией профессиональной деятельности.</p>
<p>ПК-5. Способен разрабатывать и исследовать современные алгоритмы, протоколы, вычислительные модели и модели данных для реализации функций и сервисов систем информационных технологий.</p>	<p>Знать: Типовые алгоритмы, протоколы, вычислительные модели и модели данных по теме выполняемых работ. Уметь: разрабатывать алгоритмы, протоколы, вычислительные модели и модели данных по теме выполняемых работ, оценивать их эффективность. Владеть: Опытом разработки алгоритмов, протоколов, вычислительных моделей и моделей данных для реализации функций и сервисов систем информационных технологий.</p>
<p>МПК-2 Способность разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, участвовать в междисциплинарных исследованиях с применением суперкомпьютерных систем.</p>	<p>Знать: масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, используемые при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах; Уметь:</p>

	<p>разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах;</p> <p>Владеть: навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации.</p>
--	---

6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов.

72 часа составляет контактная работа с преподавателем – 36 часов занятий лекционного типа, 36 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.).

36 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям, дискретной математике, программированию на языке C/C++, алгоритмам и структурам данных, основам параллельного программирования.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используются элементы дистанционных технологий обучения: все материала курса (презентации лекций, теоретические задания в форме тестов с автоматической проверкой ответов, практические задания по программированию и т.д.) доступны всем студентам в сети Интернет. Практические задания выполняются 1) в среде многоагентного моделирования NetLogo; 2) с использованием технологии параллельного программирования MPI. По результатам практических заданий студенты оформляют отчеты.

9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них	Самостоятельная работа учащегося, часы из них

аттестации по дисциплине		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	Всего
Тема 1. Естественные вычислительные модели	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 2. Методы Монте-Карло	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 3. Клеточные автоматы	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 4. Системы Линденмайера	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 5. Марковские системы	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 6. Сети Петри	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 7. Нейронные сети	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 8. Генетические алгоритмы	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2
Тема 9. Муравьиные алгоритмы	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2

Тема 10. Модели роевого интеллекта	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2	
Тема 11. Метод роя частиц	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2	
Тема 12. Алгоритм бактериального поиска	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2	
Тема 13. Алгоритмы роевой робототехники	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2	
Тема 14. Мембранные системы	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2	
Тема 15. ДНК-вычисления	6	2	2	-	-	-	4	2	-	2	
Промежуточная аттестация – практическое контрольное задание + индивидуальное собеседование	18	6	6	-	-	-	12	6	-	6	
Итого	108						72	36			

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ УЧАЩИХСЯ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы, подготовки к практическим заданиям текущего контроля и промежуточной аттестации.

11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература:

- 1) Ершов Н. М., Попова Н. Н. Естественные модели параллельных вычислений. — МАКС Пресс М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ имени М.В. Ломоносова, 2017. — С. 152.
- 2) Ершов Н.М. Введение в распределенное моделирование в среде NetLogo. — М.: ДМК Пресс, 2018.

Дополнительная учебно-методическая литература:

- 1) Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Данута, Пилиньский Мачей, Рутковский Лешек; Пер.с пол. И.Д.Рудинского. - М.: Горячая линия - Телеком, 2006. - 452с.
- 2) Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование: Вводный курс: Учебное пособие для вузов / Тарасевич Юрий Юрьевич. - 4-е изд.,испр. - М.: Едиториал УРСС, 2004. - 152с.
- 3) Емельянов В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / Емельянов Виктор Владимирович, Курейчик Владимир Викторович, Курейчик Виктор Михайлович. - М.: Физматлит, 2003. - 432с.
- 4) Галушкин А.И. Нейронные сети. Основы теории / Галушкин Александр Иванович. - М.: Горячая линия - Телеком, 2012. - 496с.
- 5) Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект: Учебное пособие для студентов вузов / Ясницкий Леонид Нахимович. - М.: Академия, 2005. - 176с.
- 6) Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / Джонс М.Тим; Пер.с англ. А.И.Осипова. - М.: Пресс, 2006. - 312с.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1) <https://stackoverflow.com>

2) <https://habrahabr.ru/>

Информационные технологии, используемые в процессе обучения: в процессе обучения используются библиотеки параллельного программирования MPI, OpenMP, CUDA, среда многоагентного моделирования NetLogo.

Материально-техническая база: для преподавания дисциплины аудитория, оборудованная проектором.

12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

к.ф.- м.н., с.н.с. Ершов Николай Михайлович (erшов@cs.msu.ru)

Приложение

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Естественные модели параллельных вычислений»

Промежуточная аттестация состоит из двух этапов – итогового письменного теста и индивидуального собеседования, проверяющего приобретенные знания.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ из соответствующих карт компетенций					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
УК-1 Способен формулировать научно обоснованные гипотезы, создавать теоретические модели явлений и процессов, применять методологию научного познания в профессиональной деятельности	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест
ОПК-3 Способен создавать и анализировать математические модели профессиональных задач, учитывать ограничения и границы применимости моделей, интерпретировать полученные математические результаты	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест
ОПК-4 Способен ком-	Отсутствие	Фрагментарные	В целом сформир-	Сформированные,	Сформированные	Письменный

бинировать и адаптировать современные информационно-коммуникационные технологии для решения задач в области профессиональной деятельности с учетом требований информационной безопасности	знаний	знания	рованные, но неполные знания	но содержащие отдельные пробелы знания	систематические знания	тест
ПК-7 Способен структурировать общую схему решения прикладной задачи в соответствии с ее спецификой, а также определить совокупность и особенности применения математических методов для каждого из этапов полученной схемы	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест
МПК-1 Способность понимать и применять в исследовательской и прикладной деятельности современные суперкомпьютерные технологии, математический аппарат, вычислительные методы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест

данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах						
МПК-2 Способность разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, участвовать в междисциплинарных исследованиях с применением суперкомпьютерных систем	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	В целом сформированные, но неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	Письменный тест

Фонды оценочных средств

Примерный письменный тест для текущего контроля успеваемости.

Задание №3. Метод роя частиц

1 Какие из следующих «колоний» могут служить моделями роевого поведения? Отметьте **все** верные ответы.

- (a) колония тараканов;
- (b) львиный прайд;
- (c) стая рыб;
- (d) толпа людей.

2 Какое из следующих правил *не является* правилом Рейнолдса?

- (a) Каждая птица старается не приближаться к другим птицам на расстояние, меньшее некоторой заданной величины.
- (b) Каждая птица старается выровнять свою скорость согласно скоростям своих соседей.
- (c) Каждая птица старается максимально отдалиться от своих соседей.
- (d) Каждая птица старается расположиться в геометрическом центре масс своей локальной окрестности.

3 Моделированию какого рода систем была посвящена работа Кеннеди и Эберхарта, в которой они ввели понятие метода роя частиц?

- (a) Социальные системы.
- (b) Стаи птиц.
- (c) Эволюционные вычисления.
- (d) Гравитационные системы.

4 Принцип *простой ностальгии* означает, что частица старается

- (a) попасть в точку глобального максимума целевой функции
- (b) не приближаться к другим частицам
- (c) сохранить текущую скорость
- (d) вернуться в точку, в которой ею было достигнуто лучшее значение целевой функции

5 По каким правилам обновляются состояния (положение и скорость) частиц в методе роя частиц (полагая $\tau = 1$)?

(a)
$$\begin{cases} x_i \leftarrow x_i + v_i, \\ v_i \leftarrow v_i + \alpha(p_i - x_i) + \beta(g - x_i); \end{cases}$$

(b)
$$\begin{cases} x_i \leftarrow x_i + \alpha(p_i - x_i), \\ v_i \leftarrow v_i + \beta(g - x_i); \end{cases}$$

(c)
$$\begin{cases} x_i \leftarrow x_i + v_i, \\ v_i \leftarrow v_i + \alpha(p_i - x_i) + \beta(g - x_i); \end{cases}$$

(d)
$$\begin{cases} x_i \leftarrow x_i + v_i, \\ v_i \leftarrow v_i - \alpha(p_i + x_i) - \beta(g + x_i); \end{cases}$$

6 Рассмотрим задачу минимизации функции $F(x) = |x_1| + |x_2|$ с помощью метода роя частиц. Пусть рой состоит из двух частиц, заданы их текущие координаты $x_{1,2}$, скорости $v_{1,2}$ и координаты лучших точек их траекторий $p_{1,2}$:

$$x_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix}, v_1 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, p_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \text{ и } x_2 = \begin{pmatrix} 3 \\ 2 \end{pmatrix}, v_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, p_2 = \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Полагая $\alpha = \beta = \tau = 1$, вычислите положение второй частицы на следующем шаге эволюции системы (сначала обновляется скорость, затем координаты).

7 Какими свойствами *может* обладать целевая функция в метод роя частиц (без его специальной адаптации)? Отметьте **все** верные ответы.

- (a) непрерывная область определения
- (b) дискретная область определения
- (c) динамическая (зависит от времени)
- (d) стохастическая

8 Какие имеются методы решения проблемы бесконечного ускорения частиц в методе роя частиц? Отметьте **все** верные ответы.

- (a) введение максимально допустимой скорости (скорости «света»)
- (b) штраф частицам, превышающим установленный лимит скорости
- (c) введение коэффициента сопротивления среды
- (d) включение в систему силы притяжения между частицами

9 Преобразуйте вектор (34, -12, 7, 87, 1, -33, 8, 14) в перестановку чисел от 1 до 8.

10 Укажите отличия метода CSO от метода роя частиц? Отметьте **все** верные ответы.

- (a) решается задача минимизации, а не максимизации
- (b) не используются принципы Рейнолдса
- (c) не используется принцип простой ностальгии
- (d) для обновления скорости применяется турнирная схема

Примерное практическое задание по параллельному программированию.

Задание 2 MPI: Генетические алгоритмы

Для каждого практического задания по результатам расчетов необходимо подготовить краткий отчет, в который должна быть включена следующая информация:

- ФИО, email;
- название задания;
- графики указанных в задании зависимостей;
- полный код параллельной программы.

Задание 2. Генетические алгоритмы

Решается задача минимизации непрерывной n -мерной функции $f(x)$ с помощью генетического алгоритма. В качестве целевых функций выступают сферическая функция (f_0), функция Розенброка (f_1) и функция Растригина (f_2):

$$\begin{aligned}f_0(x) &= \sum_{i=1}^n x_i^2, \\f_1(x) &= \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_i^2 - x_{i+1})^2 + (x_i - 1)^2], \\f_2(x) &= \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10].\end{aligned}$$

Начальная область поиска $x_i \in [-100, 100]$, $i = 1, \dots, n$.

Имеется последовательная версия генетического алгоритма, в которой используются следующие генетические операторы:

- Турнирная схема отбора — все особи разбиваются на пары, в каждой паре с некоторой вероятностью производится турнир, в котором с заданной вероятностью побеждает особь с меньшим значением целевой функции. Победитель удаляется из популяции, вместо него помещается копия победителя.
- Три варианта оператора скрещивания — одноточечное, двухточечное и равномерное.

- Мутация — с некоторой вероятностью к каждой компоненте решения (гену) прибавляется небольшое случайное число.

Для распараллеливания заданного генетического алгоритма предлагается использовать *островную* модель, когда вся популяция разбивается на субпопуляции (острова), внутри каждой субпопуляции реализуется описанный генетический алгоритм (см. главу 6 пособия). С некоторой частотой между субпопуляциями выполняется миграция — две субпопуляции обмениваются частью своих особей.

В настоящем задании предлагается использовать циклическую миграцию, при которой взаимодействуют соседние субпопуляции с номерами i и $i+1$ (при этом первая субпопуляция взаимодействует с последней).

Два параметра управляют работой миграции: *размер миграции* — сколько особей пересылается из одной субпопуляции в другую, и *частота миграции* — количество итераций генетического алгоритма, после выполнения которых к субпопуляции применяется оператор миграции.

Вашей задачей является MPI-реализация описанной островной модели. Параллельная программа должна корректно реализовывать генетический алгоритм и на выходе выдавать зависимость средней погрешности (т.е. разности между достигнутым минимальным значением целевой функции и значением ее глобального минимума) по популяции от номера итерации.

По результатам выполнения задания необходимо подготовить графики сходимости алгоритма (средняя ошибка по популяции и лучшая ошибка в популяции от номера итерации) для *всех* трех заданных целевых функций.

Примерные вопросы для итогового письменного теста и индивидуального собеседования на промежуточной аттестации.

1. Одномерные клеточные автоматы
2. Двумерные двоичные клеточные автоматы
3. Клеточный автомат Конвея
4. Алгоритмическая универсальность клеточных автоматов
5. Одномерные Марковские автоматы
6. Алгоритмическая универсальность Марковских автоматов
7. Двумерные Марковские автоматы
8. Алгоритмы параллельных подстановок
9. Мембранные системы
10. Алгоритмическая универсальность мембранных систем
11. Решение задачи о гамильтоновом пути с помощью мембранных систем
12. ДНК вычисления
13. Опыт Адлемана
14. Решение задачи SAT3 с помощью ДНК-вычислений
15. Сети Петри
16. Временные сети Петри
17. Ингибиторные сети Петри
18. Цветные сети Петри
19. Искусственные нейронные сети
20. Персептрон Розенблатта
21. Многослойные нейронные сети, алгоритм обучения Error Back Propagation
22. Рекуррентные нейронные сети

23. Генетические алгоритмы
24. Решение задач комбинаторной оптимизации с помощью генетических алгоритмов
25. Муравьиные алгоритмы
26. Роевые алгоритмы

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Для контроля знаний студентов по данной дисциплине необходимо проводить текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль выполняется в виде защит практических и индивидуальных работ, проверки домашних заданий. Промежуточный контроль проводится в виде экзамена, на котором обсуждаются теоретические вопросы курса. Оценивание знаний, умений и навыков производится на основе балльно-рейтинговой системы. При рейтинговой системе все знания, умения и навыки, приобретаемые студентами в результате изучения дисциплины, оцениваются в баллах. Предполагается 6 форм контроля, по которым студенты получают баллы:

1. Посещаемость лекций (макс. 10 баллов).
2. Посещаемость семинаров (макс. 10 баллов).
3. Выполнение домашних заданий к каждой лекции (макс. 20 баллов).
4. Выполнение практических заданий по параллельному программированию (макс. 20 баллов).
5. Выполнение практических заданий по моделированию в среде NetLogo (макс. 20 баллов).
6. Экзамен (макс. 20 баллов).

Итоговая оценка за курс рассчитывается исходя из набранных студентом баллов (от 0 до 100 баллов). Критерии оценок:

- «5» \geq 90 баллов;
- «4» \geq 70 баллов;
- «3» \geq 50 баллов;
- «2» $<$ 50 баллов.