

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 городе
Сарове


_____/В.В. Воеводин/

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

«Параллельное программирование для распределенных систем»

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 в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366

1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Параллельное программирование для распределенных систем

Parallel Programming for Distributed Systems

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». Образовательная программа «Суперкомпьютерные технологии и фундаментальная информатика».

4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в вариативную часть магистерской образовательной программы (дисциплина по выбору студента).

5. АННОТАЦИЯ

Современная наука, передовые инновационные технологии не могут развиваться без использования высокопроизводительных вычислительных систем. На переднем фронте этих систем находятся системы с рекордной производительностью - суперкомпьютеры. Умение ставить и реализовывать задачи для таких систем является неотъемлемой частью профессиональной подготовки специалистов во многих областях, и, в первую очередь, для специалистов по направлению подготовки «Прикладная математика и информатика». Постоянное развитие аппаратных возможностей высокопроизводительных систем диктуют актуальность задачи изучения и освоения методов разработки программного обеспечения для таких систем. Курс «Параллельное программирование для распределенных систем» посвящен изучению и освоению на практике базовых технологий параллельного программирования для высокопроизводительных вычислительных систем.

Рассматриваются основы параллельных вычислений, особенности архитектур современных высокопроизводительных вычислительных систем, гибридные технологии параллельного программирования MPI+OpenMP, MPI+OpenACC, DVMH.

Особое внимание в курсе уделяется проблемам эффективности и надежности параллельных программ. Теоретические занятия по курсу сопровождаются практикумом, в рамках которого студенты разрабатывают параллельные программы устойчивые к сбоям и исследуют эффективность их выполнения.

Modern science and advanced innovative technologies cannot develop without the use of high-performance computing systems. At the forefront of these systems are systems with record performance - supercomputers. The ability to set and implement tasks for such systems is an integral

part of the professional training of specialists in many fields, and, first of all, for specialists in the field of Applied Mathematics and Computer Science. The constant development of hardware capabilities of high-performance systems dictate the urgency of the task of studying and mastering software development methods for such systems. The course "Parallel Programming for Distributed Systems" is devoted to the study and practical development of basic parallel programming technologies for high-performance computing systems.

The fundamentals of parallel computing, features of architectures of modern high-performance computing systems, hybrid parallel programming technologies MPI+OpenMP, MPI+OpenACC, DVMH are considered.

The course pays special attention to the problems of efficiency and reliability of parallel programs. Theoretical classes in the course are accompanied by a workshop in which students develop parallel programs that are resistant to failures and explore the effectiveness of their implementation.

6. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
<p>способность понимать и применять в исследовательской и прикладной деятельности современные суперкомпьютерные технологии, математический аппарат, вычислительные методы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах (МПК-1);</p>	<p>З1 (МПК-1) Знать: современные суперкомпьютерные технологии для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах; У1 (МПК-1) Уметь: применять в исследовательской и прикладной деятельности современные суперкомпьютерные технологии для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах; В1 (МПК-1) Владеть: навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах.</p>
<p>способность разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, участвовать в междисциплинарных исследованиях с применением суперкомпьютерных систем (МПК-2);</p>	<p>З2 (МПК-2) Знать: масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, используемые при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах; У2 (МПК-2) Уметь:</p>

	разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах; В2 (МПК-2) Владеть: навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации.
способность разрабатывать эффективное системное и прикладное программное обеспечение для суперкомпьютерных систем и высокопроизводительных кластеров (МПК-3);	33 (МПК-3) Знать: основные методы и подходы для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ; У3 (МПК-3) Уметь: оценивать эффективность распределенных алгоритмов; В3 (МПК-3) Владеть: навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ.
способность проводить теоретическое исследование и экспериментальный анализ эффективности функционирования и методов организации вычислений для многопроцессорных вычислительных систем, проводить оценку масштабируемости параллельных программ (МПК-4).	34 (МПК-4) Знать: основные показатели качества параллельных программ: ускорение, эффективность, масштабируемость; У4 (МПК-4) Уметь: проводить оценку масштабируемости параллельных программ; В4 (МПК-4) Владеть: навыками для теоретического исследования и экспериментального анализа эффективности параллельных программ.

Оценочные средства для промежуточной аттестации приведены в Приложении.

7. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа.

36 часов составляет контактная работа с преподавателем – 36 часов занятий лекционного типа, 0 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 0 часов индивидуальных консультаций, 0 часов групповых консультаций, 0 часов мероприятий текущего контроля успеваемости, 2 часа промежуточной аттестации.

36 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

8. 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 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».

9. 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. Домашние задания выполняются 1) использованием технологий параллельного программирования MPI+OpenMP; 2) с использованием технологий параллельного программирования MPI+OpenACC; 3) с использованием технологии параллельного программирования DVMH. По результатам выполнения заданий студенты оформляют отчеты.

10. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа учащегося, часы			
		из них					из них			
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		
Архитектура параллельных вычислительных систем. Технологии параллельного программирования для распределенных систем										
Тема 1. Архитектура параллельных вычислительных систем. Вычислительные системы с распределенной памятью. Гибридные архитектуры	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4
Тема 2. Новые возможности технологии MPI. Неблокирующие коллективные	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4

операции. Односторонние коммуникации. Динамическое порождение процессов										
Тема 3. Новые возможности технологии OpenMP. Векторизация кода. Использование ускорителей	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4
Тема 4. Гибридная модель параллельного программирования MPI/OpenMP	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4
Тема 5. Гибридная модель параллельного программирования MPI/OpenACC	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4
Тема 6. Основные ошибки при разработке параллельных программ. Методы и средства для анализа эффективности и отладки параллельных программ	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4
Тема 7. Параллельные файловые системы. Использование MPI-IO	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4
Тема 8. Отказы в распределенных системах. Восстановление после сбоя. Контрольные точки. User Level Failure Mitigation	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4
Тема 9. Высокоуровневая технология разработки	8	4	0	-	-	-	4	4	-	4

параллельных программ для гибридных кластеров DVMH (DVM for Heterogeneous systems)											
Итого	72						36				

11. 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.

12. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература:

- 1) Якобовский М.В. Введение в параллельные методы решения задач. Учебное пособие. Серия: "Суперкомпьютерное образование". Издательство МГУ. 2013.
- 2) Лацис А.О. Параллельная обработка данных: учеб. пособие для студ. вузов. Издательский центр "Академия". 2010. Издательство: Академия.
- 3) Вл. В. Воеводин, В. В. Воеводин. Параллельные вычисления - СПб., БХВ-Петербург, 2002, 608 с.
- 4) Антонов А.С. Технологии параллельного программирования MPI и OpenMP: Учеб. пособие. Предисл.: В.А.Садовничий. - Серия "Суперкомпьютерное образование". М.: Издательство Московского университета, 2012.-344 с.

Дополнительная учебно-методическая литература:

- 1) OpenMP Application Programming Interface. Version 5.1. November, 2020. URL: <https://www.openmp.org/wp-content/uploads/OpenMP-API-Specification-5-1.pdf>
- 2) MPI: A Message-Passing Interface Standard. Version 4.0 (Draft). November 15, 2020. URL: <https://www.mpi-forum.org/docs/drafts/mpi-2020-draft-report.pdf>
- 3) The OpenACC Application Programming Interface. Version 3.1. November, 2020. URL: <https://www.openacc.org/sites/default/files/inline-images/Specification/OpenACC-3.1-final.pdf>
- 4) Э. Таненбаум, М. ван Стеен. Распределенные системы. Принципы и парадигмы - М.: Питер, 2003 - 876 с. - Классика computer science; ISBN 5-272-00053-6

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) <http://dvm-system.org>

- 2) <https://fault-tolerance.org>
- 3) <https://parallel.ru/cluster/lomonosov2.html>

Перечень программного обеспечения

Информационные технологии, используемые в процессе обучения: в процессе обучения используются приложения Google Docs, среда разработки MS Visual Studio, технологии параллельного программирования MPI, OpenMP, OpenACC, DVMH.

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

13. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Русский

14. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

к.ф.- м.н., доцент Бахтин Владимир Александрович (bakhtin@cs.msu.ru)

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Параллельное программирование для распределенных систем»

Промежуточная аттестация состоит из двух этапов – онлайн тестирования 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	
З1 (МПК-1) Знать: современные суперкомпьютерные технологии для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных суперкомпьютерных технологиях для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	В целом сформированные, но неполные знания о современных суперкомпьютерных технологиях для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных суперкомпьютерных технологиях для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	Сформированные систематические знания о современных суперкомпьютерных технологиях для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах	онлайн тестирование, зачет
У1 (МПК-1)	Отсутствие	Фрагментарные уме-	В целом сформиро-	Сформированное, но	Сформированное	домашние за-

<p>Уметь: применять в исследовательской и прикладной деятельности современные суперкомпьютерные технологии для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>умений</p>	<p>ния в применении в исследовательской и прикладной деятельности современных суперкомпьютерных технологий для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>ванное, но не систематическое умение в применении в исследовательской и прикладной деятельности современных суперкомпьютерных технологий для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>содержащее отдельные пробелы умение в применении в исследовательской и прикладной деятельности современных суперкомпьютерных технологий для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>систематическое умение в применении в исследовательской и прикладной деятельности современных суперкомпьютерных технологий для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>дания</p>
<p>В1 (МПК-1) Владеть: навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработ-</p>	<p>Отсутствие навыков</p>	<p>Фрагментарное владение навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах</p>	<p>В целом сформированное, но не систематическое владение навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводительных</p>	<p>Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопро-</p>	<p>Сформированное систематическое владение навыками разработки параллельных программ для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на современных высокопроизводи-</p>	<p>домашние задания</p>

ки данных на современных высокопроизводительных вычислительных системах			вычислительных системах	изводительных вычислительных системах	тельных вычислительных системах	
32 (МПК-2) Знать: масштабируемые параллельные методы и алгоритмы, используемые при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о масштабируемых параллельных методах и алгоритмах, используемых при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	В целом сформированные, но неполные знания о масштабируемых параллельных методах и алгоритмах, используемых при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о масштабируемых параллельных методах и алгоритмах, используемых при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	Сформированные систематические знания о масштабируемых параллельных методах и алгоритмах, используемых при проведении крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	онлайн тестирование, зачет
У2 (МПК-2) Уметь: разрабатывать и реализовывать масштабируемые параллельные методы и алгоритмы для проведения	Отсутствие умений	Фрагментарные умения в разработке и реализации масштабируемых параллельных методов и алгоритмов для проведения крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на	В целом сформированное, но не систематическое умение в разработке и реализации масштабируемых параллельных методов и алгоритмов для проведения крупномасштабного математического моделиро-	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение в разработке и реализации масштабируемых параллельных методов и алгоритмов для проведения крупномасштабного математическо-	Сформированное систематическое умение в разработке и реализации масштабируемых параллельных методов и алгоритмов для проведения крупномасштабного математического	домашние задания

крупномасштабного математического моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах		суперкомпьютерных системах	вания и обработки данных на суперкомпьютерных системах	го моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	моделирования и обработки данных на суперкомпьютерных системах	
В2 (МПК-2) Владеть: навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	В целом сформированное, но не систематическое владение навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	Сформированное систематическое владение навыками построения, параллельной реализации и исследования моделей и методов распределенной обработки информации	домашние задания
З3 (МПК-3) Знать: основные методы и подходы для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных методах и подходах для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	В целом сформированные, но неполные знания об основных методах и подходах для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об основных методах и подходах для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	Сформированные систематические знания об основных методах и подходах для оптимизации как последовательных, так и параллельных программ	онлайн тестирование, зачет
У3 (МПК-3) Уметь: оценивать эф-	Отсутствие умений	Фрагментарные умения в оценке эффективности распреде-	В целом сформированное, но не систематическое умение в	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение	Сформированное систематическое умение в оценке	домашние задания

эффективность распределенных алгоритмов		ленных алгоритмов	оценке эффективности распределенных алгоритмов	в оценке эффективности распределенных алгоритмов	эффективности распределенных алгоритмов	
В3 (МПК-3) Владеть: навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	В целом сформированное, но не систематическое владение навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	Сформированное систематическое владение навыками использования современных инструментальных средств для профилирования и анализа производительности параллельных программ	домашние задания
34 (МПК-4) Знать: основные показатели качества параллельных программ: ускорение, эффективность, масштабируемость	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления об основных показателях качества параллельных программ	В целом сформированные, но неполные знания об основных показателях качества параллельных программ	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об основных показателях качества параллельных программ	Сформированные систематические знания об основных показателях качества параллельных программ	онлайн тестирование, зачет
У4 (МПК-4) Уметь: проводить оценку масштабируемости	Отсутствие умений	Фрагментарные умения в проведении оценки масштабируемости параллельных программ	В целом сформированное, но не систематическое умение в проведении оценки масштабируемости	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение в проведении оценки масштабируемости	Сформированное систематическое умение в проведении оценки масштабируемости	домашние задания

сти параллельных программ			параллельных программ	параллельных программ	раллельных программ	
В4 (МПК-4) Владеть: навыками для теоретического исследования и экспериментального анализа эффективности параллельных программ	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками для теоретического исследования и экспериментального анализа эффективности параллельных программ	В целом сформированное, но не систематическое владение навыками для теоретического исследования и экспериментального анализа эффективности параллельных программ	Сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками для теоретического исследования и экспериментального анализа эффективности параллельных программ	Сформированное систематическое владение навыками для теоретического исследования и экспериментального анализа эффективности параллельных программ	домашние задания

Фонды оценочных средств

Примерный online-тест для текущего контроля успеваемости.

1. Какое значение переменная `global_num` будет иметь после завершения выполнения данного фрагмента программы на процессе с номером 1

```
int local_num;
int global_num = 0;
...
MPI_Comm_rank (MPI_COMM_WORLD, &local_num);
MPI_Comm_size (MPI_COMM_WORLD, &n_proc);

MPI_Reduce(&local_num, &global_num, 1, MPI_INT, MPI_MAX, 0,
          MPI_COMM_WORLD);
```

Отметьте только один овал.

- `n_proc`
- `n_proc-1`
- `local_num`
- `0`
2. Пусть процесс номер 0 выполняет коллективную рассылку данных при помощи функции `MPI_Scatter` (`void* send_data, int send_count, MPI_Datatype send_datatype, void* recv_data, int recv_count, MPI_Datatype recv_datatype, int root, MPI_Comm communicator`). Какую операцию для получения этих данных должны использовать остальные процессы?

Отметьте только один овал.

- `MPI_Recv`
- `MPI_Wait`
- `MPI_Gather`
- `MPI_Scatter`

3.

Найдите ошибку в следующем фрагменте программы: *

```
#include "mpi.h"
#define N 65536
int main (int argc, char *argv[])
{
    int rank, n_proc, right, left, buf[N];
    MPI_Status stat;

    MPI_Init (&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank (MPI_COMM_WORLD, &rank);
    MPI_Comm_size (MPI_COMM_WORLD, &n_proc);

    right = (rank + 1 == n_proc) ? 0 : rank + 1;
    left = (rank - 1 < 0) ? n_proc - 1 : rank - 1;

    MPI_Send (buf, N, MPI_INT, right, 0, MPI_COMM_WORLD);
    MPI_Recv (buf, N, MPI_INT, left, 0, MPI_COMM_WORLD, &stat);

    printf ("Rank %d sent message to rank %d\n", rank, right);
    printf ("Rank %d received message from rank %d\n", rank, left);

    MPI_Finalize ();
}
```

Отметьте только один овал.

- использование блокирующих операций для отправки/приема сообщений может привести к потенциальному дедлоку (в зависимости от параметра N)
- неправильно определены номера соседних процессов (переменные right и left)
- один и тот же буфер buf используется и для отправки, и для приема сообщения
- ошибки нет

4.

Найдите ошибку в следующем фрагменте программы: *

```
switch (rank)
{
    case 0:
        buf1 = 1;
        MPI_Bcast (&buf1, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);
        MPI_Bcast (&buf2, 1, MPI_INT, 1, MPI_COMM_WORLD);
        break;
    case 1:
        buf2 = 2;
        MPI_Bcast (&buf2, 1, MPI_INT, 1, MPI_COMM_WORLD);
        MPI_Bcast (&buf1, 1, MPI_INT, 0, MPI_COMM_WORLD);
        break;
}
```

Отметьте только один овал.

- неверно указан номер процесса, который ведет рассылку данных
- разная последовательность выполнения коллективных операций в разных процессах
- не указаны теги сообщений
- ошибки нет

5.

Найдите ошибку в следующем фрагменте программы: *

```
#include "mpi.h"
int main (int argc, char *argv[])
{
    int i, rank, bsize, s, r;
    int sbuf[1*MPI_BSEND_OVERHEAD];
    MPI_Status stat;
    MPI_Init (&argc, &argv);
    MPI_Comm_rank (MPI_COMM_WORLD, &rank);
    if (rank == 0)
    {
        bsize = 4 + MPI_BSEND_OVERHEAD;
        MPI_Buffer_attach (&sbuf, bsize);
        for (i = 0; i < 25; i++)
        {
            s = i;
            MPI_Bsend (&s, 1, MPI_INT, 1, 0, MPI_COMM_WORLD);
        }
        MPI_Buffer_detach (&sbuf, &bsize);
    }
    else if (rank == 1)
    {
        for (i = 0; i < 25; i++)
        {
            MPI_Recv (&r, 1, MPI_INT, 0, 0, MPI_COMM_WORLD, &stat);
            printf ("Rank %d received %d\n", rank, r);
        }
    }
    MPI_Finalize ();
}
```

Отметьте только один овал.

- сообщения, отправленные одним процессом в буферизованном режиме MPI_Bsend, принимаются другим процессом при помощи стандартного блокирующего вызова MPI_Recv
- буфер sbuf имеет недостаточный размер для передачи сообщений
- отключение буфера (вызов MPI_Buffer_detach) выполняется до завершения приема всех сообщений
- ошибки нет

Типовые домашние задания.

1. С помощью технологий MPI/OpenMP (MPI/OpenACC или DVMH) разработать программу для решения системы линейных алгебраических уравнений.
2. С помощью технологий MPI/OpenMP (MPI/OpenACC или DVMH) разработать программу, которая выполняет умножение 2-х матриц.
3. С помощью технологий MPI/OpenMP (MPI/OpenACC или DVMH) разработать программу, которая выполняет сортировку большого массива данных.
4. Ускорить выполнение MPI-программы, за счет ее дополнительного распараллеливания с помощью технологий OpenMP/OpenACC или DVMH.
5. Ускорить выполнение программы за счет использования параллельного ввода-вывода (MPI-IO).
6. Найти ошибку в параллельной программе.
7. Оптимизировать выполнение параллельной программы.
8. Реализовать контрольные точки в параллельной программе с использованием MPI-IO.
9. С помощью ULFM реализовать параллельную программу, устойчивую к сбою. Реализовать один из 3-х сценариев работы после сбоя: а) продолжить работу программы только на «исправных» процессах; б) вместо процессов, вышедших из строя, создать новые MPI-процессы, которые необходимо использовать для продолжения расчетов; в) при запуске программы на счет сразу запустить некоторое дополнительное количество MPI-процессов, которые использовать в случае сбоя.

В каждом задании требуется:

- a) Реализовать параллельную версию программы.
- b) Исследовать масштабируемость полученной параллельной программы: построить графики зависимости времени исполнения от числа ядер/процессоров для различного объема входных данных. Для каждого набора входных данных найти количество ядер/процессоров, при котором время выполнения программы перестает уменьшаться. Оптимальным является построение трёхмерного графика: по одной из осей время работы программы, по другой - количество ядер/процессоров и по третьей - объём входных данных.
- c) Определить основные причины недостаточной масштабируемости программы при максимальном числе используемых ядер/процессоров.
- d) Подготовить отчет о выполнении задания, включающий: описание реализованного алгоритма, графики зависимости времени исполнения от числа ядер/процессоров для различного объема входных данных, текст программы.

Примерные вопросы для зачета на промежуточной аттестации.

1. Архитектура параллельных вычислительных систем. Вычислительные системы с распределенной памятью. Гибридные архитектуры
2. Технология MPI. Неблокирующие коллективные операции. Односторонние коммуникации. Динамическое порождение процессов
3. Технология OpenMP. Векторизация кода. Использование ускорителей
4. Гибридная модель параллельного программирования MPI/OpenMP. Преимущества и недостатки
5. Гибридная модель параллельного программирования MPI/OpenACC. Преимущества и недостатки
6. Методы и подходы для оптимизации параллельных программ. Инструментальные средства для профилирования и анализа производительности
7. Методы и средства функциональной отладки параллельных программ. Динамический контроль корректности, сравнительная отладка
8. Параллельные файловые системы. Основные возможности параллельного ввода-вывода в MPI
9. Отказы в распределенных системах. Восстановление после сбоя. Контрольные точки. User Level Failure Mitigation
10. Основные возможности технологии DVMH

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 зачета, 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 5 форм контроля, по которым студенты получают баллы:

1. Посещаемость лекций (макс. 20 баллов).
2. Выполнение домашних заданий к каждой лекции (макс. 60 баллов).
3. Зачет (макс. 20 баллов).

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

- «зачет» ≥ 50 баллов;
- «незачет» < 50 баллов.