



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.01.08 Параллельная обработка данных

Направление подготовки: 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Направленность (профиль): Компьютерное моделирование экономических процессов

Квалификация (степень): бакалавр

Форма обучения: очная

Институт: математики, естествознания и техники

Кафедра: математического моделирования и компьютерных технологий

	очная форма	очно- заочная форма	заочная форма
Курс	4		
Семестр	7		

Лекции	12		
Лабораторные занятия	12		
Практические (семинарские) занятия	12		
Консультации	-		
Форма(ы) промежуточной аттестации	Зачет 0,2		
Контроль	-		
Иные формы работы	-		
Самостоятельная работа	71,8		

Всего часов: 108

Трудоемкость: 3 зачетных единицы.

Разработчик рабочей программы:

кандидат физико-математических наук, доцент С.А. Рощупкин

I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Цель изучения дисциплины: формирование у студентов представлений о возможностях современных многоядерных систем с разделяемой и неразделяемой памятью, а также основных средствах и методах повышения быстродействия программ с использованием возможностей современных компьютерных систем по распараллеливанию программ.

Задачи изучения дисциплины:

- знакомство с основными направлениями в области организации параллельных вычислений на многопроцессорных вычислительных системах;
- знакомство с технологиями параллельного программирования;
- приобретение навыков параллельного программирования с использованием интерфейса передачи сообщений;
- знакомство с технологией параллельного программирования на системах с общей оперативной памятью;
- приобретение навыков распараллеливания алгоритмов матричной алгебры.

Место дисциплины в структуре ОПОП: реализуется в рамках части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1. Дисциплины (модули).

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с индикаторами достижения компетенций:

Код компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПКС-1	Знать: <ul style="list-style-type: none">- методы и приемы формализации задач, языки формализации функциональных спецификаций;- принципы построения и виды архитектуры программного обеспечения;- типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения.	Знает: <ul style="list-style-type: none">– методологии разработки программного обеспечения и технологии программирования;– языки формализации функциональных спецификаций– методы и приемы формализации задач;– методы и средства проектирования программного обеспечения, программных интерфейсов и баз данных;– принципы построения и виды архитектуры программного обеспечения;– типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения.
	Уметь: <ul style="list-style-type: none">- - вырабатывать варианты реализации программного обеспечения и требований к нему;- применять методы и технологии	Умеет: <ul style="list-style-type: none">– использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения;– применять методы и средства проекти-

	проектирования программного обеспечения, программных интерфейсов, структур и баз данных в соответствии с установленными требованиями.	рования программного обеспечения, структур данных, баз данных, программных интерфейсов; – осуществлять коммуникации с заинтересованными сторонами; – выбирать средства реализации требований к программному обеспечению; – вырабатывать варианты реализации программного обеспечения и требований к нему; – проводить анализ исполнения требований.
	Владеть: - действиями по разработке и согласованию технических спецификаций на программные компоненты; – действиями по согласованию требований к программному обеспечению с заинтересованными сторонами, распределению заданий между программистами в соответствии с техническими спецификациями, осуществлению контроля выполнения заданий, формированию отчетности в соответствии с установленными регламентами.	Владеет: – методологией и технологиями проектирования программного обеспечения, программных интерфейсов, структур и баз данных в соответствии с установленными требованиями; – действиями по разработке и согласованию технических спецификаций на программные компоненты; – действиями по согласованию требований к программному обеспечению с заинтересованными сторонами, распределению заданий между программистами в соответствии с техническими спецификациями, осуществлению контроля выполнения заданий, формированию отчетности в соответствии с установленными регламентами;

II. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего	Аудиторные занятия			Сам. раб.
			ЛК	ПЗ	ЛБ	
7 семестр						
Раздел 1. Введение в параллельные вычисления		18	2	2	2	12
1	Тема 1. Цели и задачи параллельной обработки данных. Необходимость и актуальность параллельных вычислений. Различия между многозадачным, параллельным и распределенным режимами выполнения программ. Закон Амдаля. Закон Мура. Гипотеза Минского. Способы построения многопроцессорных вычислительных систем. Краткая история развития высокопроизводительных вычислений. Примеры параллельных вычислитель-	18	2	2	2	12

	ных систем. Рейтинги ведущих суперкомпьютеров: мировой TOP-500, TOP-50 СНГ.					
Раздел 2. Обзор параллельных вычислительных систем и их классификация. Способы организации параллельной обработки данных		18	2	2	2	12
2	Тема 2. Систематика Флинна. Детализация систематики Флинна. Понятия мультипроцессора, мультикомпьютера, вычислительного кластера. Особенности организации параллельных вычислений в системах с общей памятью (обеспечение однозначности кэш-памяти разных процессоров, синхронизация вычислений). Особенности организации параллельных вычислений в системах с распределенной памятью посредством передачи сообщений. Топологии сетей передачи данных в мультикомпьютерах.	18	2	2	2	12
Раздел 3. Вычислительные кластеры: основные понятия, архитектура, типовой набор кластерного программного обеспечения, средства доступа и управления, тестирование производительности		18	2	2	2	12
3	Тема 3. Понятие кластера и кластерной архитектуры. Классификация кластерных вычислительных систем. Состав сетевой инфраструктуры кластера. Типы топологий и критерии эффективности коммуникационной сети кластера. Сетевые решения для кластерных систем. Основные критерии оценки кластерных систем. Типичный набор программно-аппаратного обеспечения кластеров. Особенности запуска задач на кластерах. Системы управления заданиями. Интегрированные наборы кластерного программного обеспечения.	18	2	2	2	12
Раздел 4. Моделирование параллельных программ. Реализация параллелизма различного вида. Общая схема и методика разработки параллельных алгоритмов		18	2	2	2	12
4	Тема 4. Показатели эффективности параллельного алгоритма и оценка максимально достижимого параллелизма. Параллелизм на примере модельных задач нахождения частных сумм последовательности числовых значений и умножения матриц. Общая схема и методика разработки параллельных алгоритмов. Пример использования методики разработки параллельных алгоритмов для параллельного решения гравитационной задачи N тел	18	2	2	2	12
Раздел 5. Базовые средства параллельного программирования вычислительных кластеров. Методы передачи данных. Стандарт MPI		18	2	2	2	12
5	Тема 5. Общая характеристика методов передачи данных, оценка времени выполнения коммуникационных операций. Оценка трудоемкости операций передачи данных для кластерных систем. Мо-	18	2	2	2	12

	дель Хокни. MPI: основные понятия и определения. Базовый (минимальный) набор функций MPI, достаточный для разработки параллельных программ. Пример: программа вычисления числа π . Операции передачи данных между двумя процессами. Коллективные операции передачи данных. Упаковка и распаковка разнотипных данных в MPI. Управление группами процессов и коммутаторами. Виртуальные топологии Модельный пример: умножение матрицы на вектор					
Раздел 6. «Базовые средства параллельного программирования систем с общей памятью. Стандарт OpenMP»		18	2	2	2	11,8
6	Тема 6. Общие сведения. Структура стандарта OpenMP. Достоинства технологии OpenMP. Модель параллелизма OpenMP. Модель памяти OpenMP. Директивы OpenMP. Типы директив. Формат записи директив. Определение параллельной области. Распределение вычислений между потоками. Директивы синхронизации. Директивы управления областью видимости данных. Совместимость директив и их параметров. Библиотека функций OpenMP. Функции для контроля/запроса параметров среды исполнения. Функции синхронизации. Переменные среды исполнения. Пример программы произведения матриц. Сравнение технологий MPI и OpenMP для SMP-систем. Гибридный (MPI+OpenMP) подход для SMP-кластеров. Компиляторы Intel с поддержкой OpenMP. Инструментальные средства разработки и отладки многопоточных приложений.	18	2	2	2	11,8
	<i>Зачет</i>	<i>0,2</i>				
	<i>Итого за 7 семестр</i>	<i>108</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>12</i>	<i>71,8</i>
	ИТОГО:	108	12	12	12	71,8

Очно-заочная форма обучения не реализуется

Заочная форма обучения не реализуется

III. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Текущая аттестация проводится в форме контрольной работы, реферата.

Типовой вариант контрольной работы

Контрольная работа № 1.

1. В чем состоит суть параллельных вычислений?
2. С помощью чего обеспечивается параллельная работа процессов?

3. Что такое «состояние параллельной программы»?

4. Что такое «трасса»?

5. Что такое «критическая секция»?

1. Что такое «мелкомодульность»?

2. В чем состоит проблема перехода от крупномодульных алгоритмов к мелкомодульным?

3. Что такое «активная блокировка» или «активное ожидание»?

4. Приведите пример создания нитей в Pthreads.

5. Что такое «нить».

6. В чем отличия «нити» от «процесса».

7. Как выполняется передача аргументов внутрь нити.

Контрольная работа № 2.

1. Что такое OpenMP.

2. Приведите примеры основных конструкций.

3. В чем отличие OpenMP от явного использования нитей?

4. Расскажите, что такое MPI.

5. Что такое «реализация» MPI.

6. Какие базовые функции MPI вы знаете.

7. В чем отличие блокирующих от неблокирующих функций?

Контрольная работа № 3.

1. Приведите пример параллельного алгоритма сортировки в системе с общей памятью.

2. Приведите пример параллельного алгоритма сортировки в системе с раздельной памятью.

3. Приведите пример параллельного алгоритма умножения матриц в системе с общей памятью.

4. Приведите пример параллельного алгоритма умножения матриц в системе с раздельной памятью.

Примерная тематика рефератов

1. Реализация умножения матрицы в виде CUDA-программы.

2. Реализация тайлового алгоритма умножения матрицы в виде CUDA-программы.

3. Использование CUDA при сортировке данных.

4. Использование CUDA при обработке графических данных. Фильтры.

5. Гибридные программы MPI и CUDA. Умножение матриц.

6. Pthreads. Организация параллельного умножения матриц с использованием парадигм взаимодействующих равных и портфеля задач.

7. OpenMP. Организация параллельного умножения матриц.

8. MPI. Организация параллельного умножения матриц с использованием парадигм взаимодействующих равных и портфеля задач.

9. Гибридные программы. Совместное использование PThreads и MPI для повышения быстродействия параллельной реализации.

10. Алгоритмы. Реализация параллельных сортировок, поиска данных в файле, префиксные вычисления.
11. Проблемы создания кластерных систем.

Промежуточная аттестация обучающихся осуществляется в форме зачета с использованием следующих оценочных материалов: перечень вопросов к зачету.

Вопросы к зачету (7 семестр, очная форма обучения)

1. Векторная и конвейерная обработка данных. Многопроцессорная и многомашинальная, параллельная обработка данных.
 2. Закон Мура.
 3. Повышение производительности процессора при обработке массивов с использованием циклов.
 4. Использование предварительной выборки при загрузке данных из оперативной памяти в кэш второго уровня.
 5. Изменение инструкций задачи для лучшего кэширования.
 6. Архитектурно-зависимая оптимизация.
 7. Стандартные методики измерения производительности MIPS, MFLOPS и т. д.
 8. Производительность кластера – латентность, пропускная способность.
 9. Системы с распределенной, общей памятью, примеры систем. Массивно-параллельные системы (MPP).
 10. Симметричные мультипроцессорные системы (SMP).
 11. Параллельные векторные системы (PVP).
 12. Системы с неоднородным доступом к памяти (Numa), примеры систем.
 13. Классификация Флинна, Шора и т. д.
 14. Организация межпроцессорных связей – коммуникационные топологии.
- Примеры сетевых решений для создания кластерных систем.
15. Проблемы создания кластерных систем.
 16. Архитектура кластерной системы.
 17. Функциональный параллелизм, параллелизм по данным.
 18. Парадигма master-slave.
 19. Парадигма SPMD.
 20. Парадигма конвейеризации.
 21. Показатели эффективности параллельного алгоритма и оценка максимально достижимого параллелизма.
 22. Параллелизм на примере модельных задач нахождения частных сумм последовательности числовых значений и умножения матриц.
 23. Общая схема и методика разработки параллельных алгоритмов.
 24. Пример использования методики разработки параллельных алгоритмов для параллельного решения гравитационной задачи N тел.
 25. Модель обмена сообщениями – MPI.
 26. Модель общей памяти – OPENMP.

27. Концепция виртуальной, разделяемой памяти – Linda.
28. Проблемы создания средства автоматического распараллеливания программ.
29. Библиотека MPI.
30. Точечные обмены данными между процессами MPI-программы.
31. Коллективные взаимодействия процессов в MPI.
32. Управление группами и коммутаторами в MPI.
33. OpenMP. Директивы языка OpenMP.
34. Стандарты программирования для систем с разделяемой памятью.
35. Гибридные программы. Совместное использование PThreads и MPI для повышения быстродействия параллельной реализации.
36. Алгоритмы. Реализация параллельных сортировок, поиска данных в файле, префиксные вычисления.

Перечень заданий к зачету

1. Найти минимальное число, которое может быть разложено в сумму простых чисел не менее, чем N различными способами (например, для числа 10 существует ровно 5 таких способов: $10 = 7+3 = 5+5 = 2+3+5 = 2+2+3+3 = 2+2+2+2+2$).
2. Для заданного положительного числа n найти количество различных способов его получения в результате суммирования заданного количества k положительных целых чисел (например, $5=1+1+3=1+2+2$ – итого 2 способа выразить 5 как сумму 3-х чисел).
3. Найти наименьшее число n , большее заданного N такое, что числа $2 \cdot n$, $3 \cdot n$, $4 \cdot n$, $5 \cdot n$ и $6 \cdot n$ содержат тот же набор цифр (цифр в них может быть больше, чем в числе n), что и число n .
4. Найти максимальное простое число, меньшее заданного N , которое может быть записано, как сумма последовательно возрастающих простых чисел.
5. Найти первые N последовательно возрастающих на величину k чисел, больших заданного числа, все делители которых различны (два таких числа, возрастающих на 1 – это $14=2 \cdot 7$ и $15=3 \cdot 5$).
6. Число называется укорачиваемым простым слева, если последовательное удаление его цифр, начиная со старшей, дает простые числа (пример: 3797, 797, 97, 7). Это же число является укорачиваемым простым справа (3797, 379, 37, 3). Найти максимальные укорачиваемые простые слева, справа, с обеих сторон числа, меньшие заданного N .
7. Число называется циркулярно простым, если любая круговая перестановка его цифр есть простое число (например – 197 или 31 или 17). Найти количество циркулярно простых чисел, меньших заданного N .
8. Вычислить сумму десятичных цифр числа 2^N .
9. Найти минимальное простое число, большее заданного N , все цифры десятичного представления которого различны.
10. Вычислить сумму простых чисел, находящихся в диапазоне от N до M .
11. Найти наименьшее целое число, которое делится без остатка на все числа в диапазоне $[n_1, n_2]$.

12. Найти наибольший палиндром (число, одинаково читающееся слева направо и справа налево), который является произведением двух различных n -значных чисел.
13. Сортировка пузырьковая (обменная).
14. Сортировка вставками.
15. Умножение вектора на матрицу.
16. Сложение матриц.
17. Умножение матриц.
18. Вычисление характеристического многочлена матрицы.
19. Вычисление определителя матрицы.
20. Сортировка расческой.
21. Шейкерная сортировка.
22. Быстрая сортировка.
23. Сортировка Шелла.
24. Сортировка слиянием.
25. Пирамидальная сортировка.
26. Сортировка выбором.
27. Поразрядная сортировка.

IV. ПЕРЕЧЕНЬ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Основная литература

1. Гузик, В.Ф. Реконфигурируемые вычислительные системы : учебное пособие / В.Ф. Гузик, И.А. Каляев, И.И. Левин ; под общ. ред. И.А. Каляева ; Южный федеральный университет, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2016. – 472 с. : схем., ил. – (Суперкомпьютерное образование). – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=493056 (дата обращения: 01.09.2020). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-9275-1918-7. – Текст : электронный.
2. Афанасьев, К.Е. Основы высокопроизводительных вычислений : учебное пособие : [16+] / К.Е. Афанасьев, И.В. Григорьева, Т.С. Рейн. – Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. – Т. 3. Параллельные вычислительные алгоритмы. – 185 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=232205 (дата обращения: 01.09.2020). – ISBN 978-5-8353-1546-8. – Текст : электронный.

4.2. Дополнительная литература

1. Гергель, В.П. Теория и практика параллельных вычислений : учебное пособие / В.П. Гергель. – Москва : Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ) : Бином. Лаборатория знаний, 2007. – 424 с. : ил., табл. – (Основы информационных технологий). – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=233067 (дата обращения: 01.09.2020). – ISBN 978-5-9556-0096-3. – Текст : электронный.

V. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ пп	Ссылка на информационный ресурс	Наименование разработки в электронной форме	Доступность
1.	http://edu.ru/	Российское образование: Федеральный портал. Включает ссылки на порталы и сайты образовательных учреждений; государственные образовательные стандарты; нормативные документы; каталог экскурсий и обучающих программ.	Свободный доступ
2.	http://citforum.ru/database/osbd/contents.shtml	Информационно-аналитические материалы	Свободный доступ

VI. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ БАЗЫ ДАННЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СИСТЕМЫ

1.	http://www.biblioclub.ru	Электронно-библиотечная система (ЭБС) Университетская библиотека онлайн	Регистрация через любой университетский компьютер. В дальнейшем предоставляется неограниченный индивидуальный доступ из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет
2.	www.garant.ru	Информационно-правовой портал	Свободный доступ
3.	www.elibrary.ru	Российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования	Свободный доступ
4.	www.consultant.ru	Российская компьютерная справочно-правовая система	Свободный доступ

VII. ЛИЦЕНЗИОННОЕ И СВОБОДНО РАСПРОСТРАНЯЕМОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

При реализации учебной дисциплины применяется следующее лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Windows;
- Microsoft Office;
- LibreOffice и др.

VIII. ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Учебные занятия проводятся в аудиториях, укомплектованных специализированной мебелью, в том числе стационарными или переносными техническими средствами обучения (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

Лабораторные занятия, групповые и индивидуальные консультации, текущая и промежуточная аттестации проводятся в специализированных классах, оснащенных автоматизированными рабочими местами с компьютерами.

Самостоятельная работа проводится в кабинетах, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.