

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

Д.А. Гаврилов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Введение в распараллеливание алгоритмов и программ
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 1

Программу составили:

В.Е. Карпов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Р.Л. Пальян, старший преподаватель

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФРКТ 07.11.2024

Аннотация

В данном курсе рассматривается решение проблем и задач, возникающих при использовании в научных исследованиях и прикладных областях современных высокопроизводительных вычислительных систем. Излагаются теоретические основы создания эффективных параллельных алгоритмов и программ с их использованием. Даются практические навыки применения данных алгоритмов при работе с высокопроизводительными вычислительными системами. Данный курс является продолжением курса "Параллельное программирование".

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- освоение студентами знаний в области применения современных высокопроизводительных комплексов различной архитектуры в научных исследованиях и прикладных областях, в частности — в математическом моделировании и обработке больших массивов данных.

Задачи дисциплины

- формирование основных знаний в области применения высокопроизводительных вычислительных комплексов различной архитектуры на основе курсов информатики, операционных систем, языков программирования и курсов вычислительной математики для обеспечения технологических основ математического моделирования в современных инновационных сферах деятельности;
- обучение студентов принципам создания эффективных параллельных алгоритмов и программ, анализа существующих программ и алгоритмов на параллельность; знакомство с основными методами и принципами параллельного программирования, основными технологиями параллельного программирования;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области параллельных вычислений и математического моделирования с использованием современных технологий, и программных средств параллельного программирования в рамках выпускных работ на степень бакалавра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1 Способен устанавливать разные виды коммуникации (учебную, научную, деловую, неформальную и др.)
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научной, технической и (или) иной информации	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности

обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- историю эволюции вычислительных систем и историческую необходимость использования параллельных вычислений;
- основы архитектуры параллельных вычислительных комплексов
- основные технологические этапы разработки параллельных программ;
- принципы асимптотического анализа алгоритмов;
- методы декомпозиции последовательных алгоритмов;
- способы эквивалентных и неэквивалентных преобразований последовательных программ, позволяющих использовать их на параллельных вычислительных комплексах;
- основные идеи при реализации численных алгоритмов, позволяющих избежать случая низкой эффективности распараллеливания.

уметь:

- оценивать асимптотическую сложность используемых алгоритмов и выбирать оптимальные алгоритмы для современных программ;
- анализировать последовательные программы для выявления возможности их распараллеливания;
- оценивать эффективность работы распараллеленных программ;
- выбирать эффективные численные методы для поставленных задач математического моделирования.

владеть:

- приемами распараллеливания алгоритмов и программ;
- средствами и технологиями разработки приложений, обеспечивающих проведение параллельного вычислительного эксперимента.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Проблемы эволюции вычислительных систем. Архитектурный и программный параллелизм. Парадигмы последовательного и параллельного программирования	3		3	6
2	Элементы асимптотического анализа алгоритмов	3		3	6

3	Декомпозиция алгоритмов на уровне операций	2		2	6
4	Укрупнение параллельных ярусов	2		2	6
5	Параллельность циклов	3		3	6
6	Основные подходы к организации размещения задач на процессорах	1		1	6
7	Аранжировка исполнения параллельных программ	1		1	6
8	Методы параллельного решения жестких систем ОДУ большой размерности.	3		3	6
9	Решение краевой задачи для линейных обыкновенных дифференциальных уравнений (на примере уравнений второго порядка).	2		2	6
10	Решение краевой задачи для нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (на примере уравнений второго порядка).	2		2	7
11	Конечно-разностные методы решения эволюционных уравнений в частных производных (уравнений параболического и гиперболического типов).	4		4	7
12	Проблема выбора «удачного» базиса.	4		4	7
Итого часов		30		30	75
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Проблемы эволюции вычислительных систем. Архитектурный и программный параллелизм. Парадигмы последовательного и параллельного программирования

Архитектурный и программный параллелизм. Проблемы использования параллельных систем. Непереносимость алгоритмов. Ошибки округления. Зависимость от архитектуры, языка, компилятора, ОС. Расширенная квалификация Флинна. Примеры SISD, SIMD, MISD, MIMD машин. Модели параллельного программирования. Этапы параллельного решения проблем: decomposition, assignment, orchestration, mapping. Задачи, решаемые на каждом этапе.

2. Элементы асимптотического анализа алгоритмов

Элементы асимптотического анализа алгоритмов. Основные предположения. Вычислительная модель RAM. Терминология и обозначения. Асимптотические отношения. Наилучший последовательный алгоритм. Пример асимптотического анализа сложности последовательного алгоритма выбора элемента из множества. Рекуррентные соотношения. Основная теорема асимптотического анализа. Вычислительные модели PRAM. Ускорение при распараллеливании. Стоимость параллельного алгоритма. Оптимальность алгоритма по стоимости. Пример асимптотического анализа сложности параллельного алгоритма выбора элемента из множества. Ограниченность асимптотического анализа.

3. Декомпозиция алгоритмов на уровне операций

Декомпозиция алгоритмов на уровне операций. Понятие о графе алгоритма. Строго параллельные формы графа, каноническая параллельная форма. Соотнесение строго параллельных форм с выполнением алгоритма на конкретных архитектурных решениях. Ярусы параллельной формы, их ширина и высота. Концепция неограниченного параллелизма. Определение максимально возможного ускорения по ярусно-параллельной форме алгоритма.

4. Укрупнение параллельных ярусов

Укрупнение параллельных ярусов. Декомпозиция алгоритмов и программ на уровне действий и операторов. Условия Бернштейна и их нарушение. Истинная или потоковая зависимость, антизависимость, зависимость по выходным данным. Графы зависимостей. Связь зависимостей операторов с возможностью одновременного выполнения.

5. Параллельность циклов

Параллельность циклов. Простые циклы: расстояние зависимости; зависимости, связанные и несвязанные с циклом. Вложенные циклы. Вектора зависимости и направлений. Их использование для определения возможности распараллеливания циклов. Способы устранения зависимостей: loop distribution, code replication, loop alignment, приватизация переменных, индукция и редукция. Декомпозиция на уровне блоков операторов, блоки.

6. Основные подходы к организации размещения задач на процессорах

Assignment. Основные подходы к организации размещения задач на процессорах. Динамическое, потоковое, статическое планирование, work pool, pipeline, competition, divide & conquer. Их недостатки и достоинства. Проблемы балансировки загрузки процессоров. Гомогенные и гетерогенные вычислительные системы.

7. Аранжировка исполнения параллельных программ

Аранжировка выполнения. Где и как синхронизировать вычисления и обмениваться данными. Перекрытия. Ухудшение последовательного алгоритма для улучшения параллельного.

8. Методы параллельного решения жестких систем ОДУ большой размерности.

Методы параллельного решения жестких систем ОДУ большой размерности. Методы Рунге–Кутты, Розенброка и W-методы. Методы Розенброка и W-методы с приближенным вычислением обратной матрицы. Метод Шульца приближенного обращения матрицы.

9. Решение краевой задачи для линейных обыкновенных дифференциальных уравнений (на примере уравнений второго порядка).

Решение краевой задачи для линейных обыкновенных дифференциальных уравнений (на примере уравнений второго порядка). Параллельные версии алгоритма прогонки. Решение системы линейных алгебраических уравнений с трехдиагональной матрицей методом редукции.

10. Решение краевой задачи для нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (на примере уравнений второго порядка).

Решение краевой задачи для нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений (на примере уравнений второго порядка). Алгоритм «параллельной пристрелки» и его принципиальные отличия от «пристрелки». Переход к решению расширенной системы ОДУ как основа параллельной версии алгоритма.

11. Конечно-разностные методы решения эволюционных уравнений в частных производных (уравнений параболического и гиперболического типов).

Конечно-разностные методы решения эволюционных уравнений в частных производных (уравнений параболического и гиперболического типов). Геометрическое распараллеливание и итерационные методы.

12. Проблема выбора «удачного» базиса.

Проблема выбора «удачного» базиса. Методы вейвлет-Галеркина (на примере решения интегрального уравнения) и возможность их параллельной реализации.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- необходимое оборудование для лекций: компьютер (ноутбук) и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).
- необходимое оборудование для лабораторных работ: ПК или ноутбук,

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Суперкомпьютерные вычисления : практический подход, [учебное пособие]/С. В. Борзунов, С. Д. Кургалин, -Санкт-Петербург, БХВ, 2019
2. Численные методы, алгоритмы и программы. Введение в распараллеливание [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Е. Карпов, А. И. Лобанов .— М. : Физматкнига, 2014 .— 192 с.

Дополнительная литература

1. Язык программирования C [Текст] / Б. Керниган, Д. Ритчи ; пер. с англ. и ред. В. Л. Бродового - М. Вильямс, 2006, 2007, 2009, 2010, 2012, 2013, 2015

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

<http://www.intuit.ru>
<http://www.parallels.ru>
www.hpc-education.ru
<https://mipt.ru/drec/forstudents/study/studyMaterials/parallels/>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

Для проведения лабораторных работ сетевой доступ к многопроцессорному серверу с ОС Linux, персональными аккаунтами студентов и установленным ПО (свободно распространяемого) для выполнения работ по курсу.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Самостоятельная работа включает в себя: чтение и конспектирование рекомендованной литературы, просмотр интернет-ресурсов по тематике курса, подготовку к ответам на контрольные вопросы.

В том числе рекомендуем прочитать:

1. Н. Jordan, G. Alagband. Fundamentals of Parallel Processing. — Pearson Education, Inc., 2003. — 536 p.
2. Selim G. Aki. The Design and Analysis of Parallel Algorithms. — Prentice-Hall, Inc., 1989. — 401 p.
3. Claudia Leopold. Parallel and Distributed Computing. — John Wiley & Sons, Inc., 2001. — 260 p.

4. М., Клич А., Кубичек М., М. Марек. Методы анализа нелинейных динамических моделей. — М., Мир, 1991 — 368 с.
5. Stoer J, Bulirich R. Introduction To Numerical Analysis— New York, Springer, 1980.
6. Kubiček M., Hlaváček V. Numerical solution of Non-Linear boundary value Problems — New York, Prentice-hall Engelwood Cliffs, 1983.
7. Э. Хайпер, Э. Ваннер. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Жесткие и дифференциально-алгебраические задачи. — М., Мир, 1999.
8. В. М. Вержбицкий. Основы численных методов. — М., Высшая школа, 2002 — 840 с.
9. Яненко Н.Н., Коновалов А.Н., Бугров А.Н., Шустов Г.В. Об организации параллельных вычислений и "распараллеливание" прогонки // Числ. методы механики сплош. среды. 1978. Т. 9. №7. С. 139-146.
10. Последовательные и параллельные алгоритмы: Общий подход [Текст]:[учебное пособие для вузов] / Р.Миллер, Л.Боксер; пер. с англ. А.В.Козвониной; под ред. С.М. Окулова. - М.: БИНОМ. Лаб.знаний, 2006. - 406 с.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий центр образовательных программ ФРКТ
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Разработчики:

В.Е. Карпов, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Р.Л. Пальян, старший преподаватель

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
УК-3 Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде	УК-3.1 Способен устанавливать разные виды коммуникации (учебную, научную, деловую, неформальную и др.)
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в распараллеливание алгоритмов и программ» обучающийся должен:

знать:

- историю эволюции вычислительных систем и историческую необходимость использования параллельных вычислений;
- основы архитектуры параллельных вычислительных комплексов
- основные технологические этапы разработки параллельных программ;
- принципы асимптотического анализа алгоритмов;
- методы декомпозиции последовательных алгоритмов;
- способы эквивалентных и неэквивалентных преобразований последовательных программ, позволяющих использовать их на параллельных вычислительных комплексах;
- основные идеи при реализации численных алгоритмов, позволяющих избежать случая низкой эффективности распараллеливания.

уметь:

- оценивать асимптотическую сложность используемых алгоритмов и выбирать оптимальные алгоритмы для современных программ;
- анализировать последовательные программы для выявления возможности их распараллеливания;
- оценивать эффективность работы распараллеленных программ;
- выбирать эффективные численные методы для поставленных задач математического моделирования.

владеть:

- приемами распараллеливания алгоритмов и программ;
- средствами и технологиями разработки приложений, обеспечивающих проведение параллельного вычислительного эксперимента.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль освоения материала студентами контролируется с помощью периодических опросов на лабораторных занятиях. Примеры контрольных вопросов:

- в конвейерном устройстве есть 7 ступеней, срабатывающих за одну единицу времени, каждая. За сколько единиц времени это устройство обработает 7 пар аргументов: 1, 3, 7, 8, 13, 14, верного ответа нет?
- чем декомпозиция по данным отличается от декомпозиции по вычислениям?
- приведите пример набора активностей, для которого нарушены все условия Бернштейна, но который, тем не менее, является детерминированным.
- если в программе встречаются два оператора, приведенных в динамическом порядке следования,
 $a = b+c;$
 $d = e+f;$

то можно ли их исполнять параллельно? Обоснуйте свое утверждение.

- постройте граф зависимостей по данным между операторами для фрагмента текста программы, расположенного в динамическом порядке следования:

S1: $x = e + 2z$

S2: $y = 2f + x$

S3: $z = z + y$

S4: $y = z + x$

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Максимальная пиковая производительность наиболее мощных современных параллельных вычислительных систем измеряется: в единицах EFLOPs, в десятках PFLOPs, в единицах PFLOPs, в сотнях TFLOPs?

2. Производительность компьютера, достигнутая при выполнении некоторой программы, выражена в TFLOPs. Это значение говорит о: среднем количестве операций над вещественными данными, представленными в форме с фиксированной запятой, выполненных за секунду в процессе обработки данной программы; общем числе команд, выполненных за время работы программы; средней скорости выполнения данным компьютером арифметических операций над вещественными числами, представленными в форме с плавающей запятой; средней скорости выполнения данным компьютером арифметических операций над вещественными числами, представленными в форме с плавающей запятой, достигнутой при выполнении данной программы; высокой реальной производительности данного компьютера.

3. Умножение двух квадратных плотных вещественных матриц компьютер выполнил за 5 сек с производительностью 50 GFLOPs. Какого размера были матрицы: 500*500, 1000*1000, 2000*2000, 5000*5000, 7000*7000, верного ответа нет?

4. Сколько кризисов software насчитывается за всю историю развития электронных вычислительных систем: 4, 3, 2, 1, ни одного?

5. В каком компьютере функциональные устройства сочетали одновременно принципы конвейерной и параллельной обработки: IBM 704, IBM STRETCH, CDC 6600, CDC 7600, ILLIAC IV, ATLAS, верного ответа нет?

6. Отметьте правильные утверждения на тему машинного представления чисел в современных ЭВМ: все существовавшие до сих пор ЭВМ используют в качестве базовой двоичную систему счисления; машинное эpsilon в основном определяется длиной мантиссы в представлении вещественных чисел; мантисса числа в двоичном представлении - та же, что и мантисса его десятичного логарифма; машинные ноль и эpsilon не могут быть получены с помощью фортран-программы, их следует найти в документации к компьютеру; машинное сложение коммутативно; машинное сложение ассоциативно; машинное умножение коммутативно; машинное умножение ассоциативно?
7. Кто из перечисленных ниже людей внёс наибольший вклад в развитие параллельной вычислительной техники: Джон Грей; Сеймур Крэй; Стивен Крейн; Кристиан Рэй; Френсис Дрейк?
8. Действительные числа в машинном представлении: всегда хранятся точно; всегда хранятся с ненулевой ошибкой округления; хранились на всех существовавших вычислительных системах в двоичном представлении; имеют относительную ошибку округления не более машинного нуля; имеют абсолютную ошибку округления не более машинного эpsilon; иногда хранятся точно?
9. Конвейерное ФУ деления состоит из пяти ступеней, срабатывающих за 2, 5, 3, 1 и 1 такт соответственно. Чему равно наименьшее число тактов, за которое можно обработать 40 пар аргументов на данном устройстве: 1, 5, 12, 40, 207, 212, 480, верного ответа нет?
10. В конвейерном устройстве есть 7 ступеней, срабатывающих за одну единицу времени, каждая. За сколько единиц времени это устройство обработает 7 пар аргументов: 1, 3, 7, 8, 13, 14, верного ответа нет?
11. Есть два конвейерных ФУ: сложение (4 ступени) и умножение (6 ступеней), все ступени срабатывают за один такт. За сколько тактов будет выполнена векторная операция $A_i = B_i + C_i * s$, $i=1,2,...,60$, с использованием данных устройств в режиме с зацеплением ФУ: 60, 69, 70, 128, 130, 240, 600?
12. Есть два конвейерных ФУ: сложение (4 ступени) и умножение (6 ступеней), все ступени срабатывают за один такт. За сколько тактов будет выполнена векторная операция $A_i = B_i + C_i * s$, $i=1,2,...,60$, с использованием данных устройств без зацепления ФУ: 60, 69, 70, 128, 130, 240, 600?
13. Архитектура компьютеров. Отметьте правильные утверждения: в SMP-компьютерах все процессоры равноправны; архитектуры NUMA и ccNUMA позволяют сохранить единое адресное пространство для параллельной программы; кэш-память явилась причиной возникновения архитектуры NUMA; поиск команд, которые можно выполнять параллельно, в суперскалярных процессорах происходит во время работы программы; параллелизм в классических VLIW-компьютерах выделяется компилятором.
14. Отметьте правильные утверждения про компьютеры: классификация Флинна содержит 3 типа компьютеров; классификация Флинна содержит 4 типа компьютеров; классификация Флинна содержит 6 типов компьютеров; одним из признаков векторно-конвейерного компьютера является многопроцессорность; одним из признаков векторно-конвейерного компьютера является наличие хотя бы одного конвейера; одним из признаков векторно-конвейерного компьютера является наличие векторных регистров; концепция неограниченного параллелизма при развитии компьютерной техники в отдалённом будущем может стать реальностью.
15. Какие из технологических этапов присущи только парадигме параллельного программирования: построение математической модели, декомпозиция, аранжировка, написание программы?
16. Чем декомпозиция по данным отличается от декомпозиции по вычислениям?
17. В чем заключаются достоинства и недостатки статического и динамического способов назначения задач виртуальным исполнителям?
18. Каковы основные цели этапа назначения: сокращение загрузки исполнителей, балансировка загрузки исполнителей, сокращение обменов данными между исполнителями, равномерный обмен данными между исполнителями, сокращение накладных расходов на назначение?
19. Верно ли следующее утверждение: модель передачи сообщений в параллельном программировании применима только на системах с распределенной памятью? Обоснуйте свой ответ.
20. Приведите пример программного кода с внутренним параллелизмом, который, с Вашей точки зрения, нельзя распараллелить автоматически (если такие существуют).
21. В чем заключаются достоинства и недостатки различных подмоделей программирования в модели общей памяти?

22. На каком этапе в параллельной программе задачи назначаются реальным физическим исполнителям: на этапе декомпозиции, на этапе назначения, на этапе аранжировки, на этапе отображения?

23. Современная парадигма параллельного программирования включает: 5, 6, 7, 8, 9, 10 этапов.

24. Перечислите три основных принципа асимптотического анализа алгоритмов.

25. Пусть $T_1(n)$ и $T_2(n)$ – времена работы последовательных алгоритмов 1 и 2 соответственно. Если $T_1(n) = O(T_2(n))$, то алгоритм 1: лучше алгоритма 2, не хуже алгоритма 2, хуже алгоритма 2, не хуже алгоритма 2, ничего нельзя сказать.

26. Сформулируйте понятие оптимальности последовательного алгоритма.

27. Какие из нижеперечисленных формулировок относятся к модели вычислительной системы RAM: время доступа к памяти одинаково для всех ячеек, независимо от того рассматривается операция чтения или операция записи; время выполнения всех операций на процессоре считается одинаковым; время выполнения основных операций на процессоре есть (1)?

28. Пусть два последовательных алгоритма решения одной задачи являются оптимальными по поведению. Что можно сказать о реальных временах решения при заданном параметре масштаба N : времена будут одинаковыми, ничего сказать нельзя?

29. Пусть имеется два последовательных алгоритма решения одной и той же задачи — 1 и 2. Алгоритм 1 является оптимальным по поведению, алгоритм 2 не является оптимальным. Что можно сказать о реальных временах решения при заданном параметре масштаба N : время работы алгоритма 1 всегда будет меньше времени работы алгоритма 2, времена будут одинаковыми, ничего сказать нельзя?

30. Используя основную теорему асимптотического анализа, оцените асимптотическое поведение алгоритма сортировки слиянием. Является ли этот алгоритм оптимальным?

31. Какие схемы разрешения конфликта при разрешенной одновременной записи различными исполнителями в одну ячейку памяти в модели вычислительной системы PRAM вы знаете?

32. При вычислении теоретического значения ускорения для параллельных алгоритмов решения некоторой задачи на 4-х исполнителях были получены следующие значения: 2, 3.9, 5. Какие из значений являются корректными? Почему?

33. При вычислении реального значения ускорения для параллельных алгоритмов решения некоторой задачи на 4-х исполнителях были получены следующие значения: 2, 3.9, 5. Какие из значений являются корректными? Почему?

34. Что означает высказывание, «некоторый параллельный алгоритм является оптимальным по стоимости»?

35. Перечислите основные свойства графа алгоритма, реализованного программой.

36. Сколько строгих параллельных форм может существовать у графа алгоритма: 1, ограниченное количество, но больше 1; бесконечно много?

37. Докажите единственность канонической строгой параллельной формы графа алгоритма.

38. Для графа алгоритма, содержащего 500 вершин, высота некоторой строгой параллельной формы равна 25. Что можно сказать о максимальном ускорении, которое может быть получено при реализации алгоритма на параллельной вычислительной системе в модели PRAM — оно будет всегда меньше 20, строго равно 20, может быть больше 20?

39. Для программного текста, реализованного на Фортране 77

```
b(1) = a(1) * 2
```

```
do i = 2, 5
```

```
    b(i) = b(i-1) + a(i) * 2
```

```
enddo
```

постройте граф алгоритма, каноническую строгую параллельную форму и оцените максимально возможное ускорение при реализации алгоритма на параллельной вычислительной системе.

40. Объясните понятия interleaving, недетерминированный и детерминированный набор активностей.

41. Приведите пример набора активностей, для которого нарушены все условия Бернштейна, но который, тем не менее, является детерминированным.

42. Если в программе встречаются два оператора, приведенных в динамическом порядке следования,

```
a = b+c;
```

```
d = e+f;
```

то можно ли их исполнять параллельно? Обоснуйте свое утверждение.

43. Перечислите виды зависимостей между операторами (блоками операторов), которые Вам известны.

44. Какие из видов зависимостей по данным могут являться принципиальным препятствиям к распараллеливанию: истинная зависимость, зависимость по выходным данным, антизависимость?

45. Постройте граф зависимостей по данным между операторами для фрагмента текста программы, расположенного в динамическом порядке следования:

S1: $x = e + 2z$

S2: $y = 2f + x$

S3: $z = z + y$

S4: $y = z + x$

46. Постройте граф зависимостей по данным между операторами для фрагмента текста программы, расположенного в динамическом порядке следования:

S1: $x = x + 2y$

S2: $y = 2f + x$

S3: $z = z + z$

S4: $y = z + x$

47. Для цикла

do $i = 1, u$

S1: $a(i) = d(i) + 5 * i$

S2: $c(i) = a(i-1) * 2$

enddo

определите расстояние зависимости, тип зависимости и возможность распараллеливания.

48. Для цикла

do $i = 1, u$

S1: $a(i) = d(i) + 5 * i$

S2: $c(i) = a(i+1) * 2$

enddo

определите расстояние зависимости, тип зависимости и возможность распараллеливания.

49. Для цикла

do $i = 1, u$

S1: $a(i) = d(i) + 5 * i$

S2: $c(i) = a(i) * 2$

enddo

определите расстояние зависимости, тип зависимости и возможность распараллеливания.

50. С чем связаны основные проблемы определения вектора расстояний при анализе вложенных циклов на зависимость по данным?

51. Для цикла

do $j1 = 1, u1$

do $j2 = 1, u2$

S1: $a(i, j) = b(i, j) * 2$

S2: $c(i, j) = a(i, j - 1) + 1$

enddo

enddo

определите вектор расстояний, вектор направлений и тип зависимости.

52. Для цикла

do $j1 = 1, u1$

do $j2 = 1, u2$

S1: $a(i, j) = b(i, j) * 2$

S2: $c(i, j) = a(i, j + 2) + 1$

enddo

enddo

определите вектор расстояний, вектор направлений и тип зависимости.

53. Для цикла

do $j1 = 1, u1$

```

do j2 = 1,u2
S1: a(i, j) = b(i, j) * 2
S2: c(i, j) = a(i - 1, j + 2) + 1
enddo
enddo

```

определите вектор расстояний, вектор направлений и тип зависимости.

54. Для цикла

```

do j1 = 1,u1
do j2 = 1,u2
S1: a(i, j) = b(i, j) * 2
S2: c(i, j) = a(i + 1, j + 3) + 1
enddo
enddo

```

определите вектор расстояний, вектор направлений и тип зависимости.

55. Для цикла

```

do j1 = 1,u1
do j2 = 1,u2
S1: a(i, j) = b(i, j) * 2
S2: c(i, j) = a(i, j + 2) + 1
enddo
enddo

```

enddo

определите вектор расстояний, вектор направлений и тип зависимости.

56. Для цикла

```

do j1 = 1,u1
do j2 = 1,u2
S1: a(i, j) = b(i, j) * 2
S2: c(i, j) = a(i, j) + 1
enddo
enddo

```

enddo

определите вектор расстояний, вектор направлений и тип зависимости.

57. Для цикла

```

do j1 = 1,u1
do j2 = 1,u2
S1: a(i, j) = b(i, j) * 2
S2: c(i, j) = a(i + 2, j - 3) + 1
enddo
enddo

```

enddo

определите вектор расстояний, вектор направлений и тип зависимости.

58. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид («=»,«=»). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?

59. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид («<»,«=»). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?

60. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид («<»,«<»). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?

61. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид ($\langle = \rangle, \langle < \rangle$). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?
62. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид ($\langle > \rangle, \langle = \rangle$). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?
63. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид ($\langle = \rangle, \langle > \rangle$). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?
64. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид ($\langle > \rangle, \langle > \rangle$). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?
65. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид ($\langle < \rangle, \langle > \rangle$). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?
66. Пусть вектор направлений для двумерного цикла имеет вид ($\langle > \rangle, \langle < \rangle$). Какие из следующих утверждений являются верными: цикл может быть распараллелен по внешнему индексу безо всяких ограничений, по внешнему индексу при условии дублирования входных данных, по внутреннему индексу при условии барьерной синхронизации между итерациями внешнего цикла, по двум индексам без ограничений, не может быть распараллелен?
67. Пусть для некоторого многомерного цикла вектор направлений имеет вид ($\langle = \rangle, \langle < \rangle, \dots, \langle > \rangle$). Что можно сказать про тип зависимости, обнаруживаемой между операторами после раскрытия цикла: это — истинная зависимость, это — антизависимость, ничего сказать нельзя?
68. Пусть для некоторого многомерного цикла вектор направлений имеет вид ($\langle > \rangle, \langle < \rangle, \dots, \langle > \rangle$). Что можно сказать про тип зависимости, обнаруживаемой между операторами после раскрытия цикла: это — истинная зависимость, это — антизависимость, ничего сказать нельзя?
69. Пусть для некоторого многомерного цикла вектор направлений имеет вид ($\langle < \rangle, \langle = \rangle, \dots, \langle > \rangle$). Что можно сказать про тип зависимости, обнаруживаемой между операторами после раскрытия цикла: это — истинная зависимость, это — антизависимость, ничего сказать нельзя?
70. Эквивалентное преобразование программы — это: преобразование динамического порядка следования операторов, сохраняющее результат при любых входных данных; преобразование, сохраняющее граф алгоритма; преобразование, сохраняющее зависимости по данным между операторами, ничего из вышеперечисленного.
71. Почему знание о возможности эквивалентного изменения порядка вложенности во вложенных циклах для распараллеливания программ является важным?
72. Перечислите дополнительные условия в теореме о достаточности приемов разделения цикла, выравнивания цикла и допустимой перестановки операторов в теле цикла для устранения зависимостей, связанных с циклом.
73. Что означает выражение: в цикле нет рекурсивных зависимостей по данным?
74. Справедливо ли утверждение, если между операторами цикла существует истинная зависимость — цикл по итерациям распараллелить невозможно? Обоснуйте ответ.
75. Справедливо ли утверждение, если между операторами невложенного цикла существует истинная зависимость с расстоянием зависимости равным 1 — цикл по итерациям распараллелить принципиально невозможно? Обоснуйте ответ.
76. Какие приемы распараллеливания циклов при наличии зависимости операторов цикла по скалярным переменным являются эквивалентным преобразованием программ: приватизация, «ликвидация» индукционных переменных, редукция?
77. Справедливо ли следующее утверждение: распараллеливание с помощью приема редукции всегда является неэквивалентным преобразованием программы? Обоснуйте свой ответ.

78. Справедливо ли следующее утверждение: распараллеливание с помощью приема «ликвидации» индукционных переменных всегда является неэквивалентным преобразованием программы? Обоснуйте свой ответ.
79. Можно ли устранить в последовательной программе истинные зависимости по данным для получения корректной параллельной версии?
80. Какие схемы распределения работ на этапе назначения между виртуальными исполнителями Вам известны?
81. Система ОДУ не является жесткой и решается явным методом Рунге-Кутты. Будет ли реализованная для такого уравнения последовательная программа эффективно распараллеливаться?
82. Жесткая система обыкновенных дифференциальных уравнений решается W-методом с заменой точного обращения матрицы приближенным по методу Шульца. Какая версия метода допускает более эффективную параллельную реализацию – с несколькими итерациями для вычисления матрицы или с учетом нескольких последовательных степеней невязки?
83. Будет ли однократно диагонально неявный метод, основанный на методе Розенброка, более эффективным с точки зрения распараллеливания по сравнению со всеми остальными методами того же класса?
84. Метод параллельной стрельбы будет более эффективным по сравнению с методом стрельбы: А. Если число исполнителей превышает количество добавленных систем линейных дифференциальных уравнений в вариациях Б. В любом случае, так как быстрее сходятся итерации по пристрелочным параметрам В. Если исходная краевая задача хорошо обусловлена, и в этом случае быстрее сходятся итерации по пристрелочным параметрам
85. Есть ли смысл при реализации метода параллельной стрельбы использовать распараллеливание решения системы линейных уравнений в процессе итераций по пристрелочным параметрам?
86. При реализации параллельной пристрелки реализовано две версии метода. При первой реализации сначала решаются нелинейные уравнения, данные сохраняются, а затем решаются уравнения в вариациях, во второй реализации все эти уравнения решаются одновременно. Какая реализация более эффективна с точки зрения распараллеливания?
87. Решаются две близкие задачи – уравнение диффузии и уравнение диффузии с конвекцией. Используется неявная схема. Можно ли в каждом из этих случаев использовать алгоритм редукции для решения системы линейных уравнений с трехдиагональной матрицей?
88. Решаются две близкие задачи – уравнение диффузии и уравнение диффузии с конвекцией. Используются схемы, в которых диффузионный оператор аппроксимируется на верхнем слое по времени, а конвективные члены – на нижнем слое по времени. Можно ли в каждом из этих случаев использовать алгоритм редукции для решения системы линейных уравнений с трехдиагональной матрицей?

Критерии оценивания

Оценка "отлично (10)" выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично (9)" выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка "отлично (8)" выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка "хорошо (7)" выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка "хорошо (6)" выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка "хорошо (5)" выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка "удовлетворительно (4)" выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка "удовлетворительно (3)" выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка "неудовлетворительно (2)" выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка "неудовлетворительно (1)" выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Во время проведения дифференцированного зачёта обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины и конспектами лекций.

Дифференцированный зачёт проводится путем организации письменной работы с последующей проверкой и выставлением оценки преподавателями курса, финальная оценка складывается из результатов письменной работы и усреднённой оценки за выполнение практических работ в течение семестра с равными весовыми коэффициентами.