

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

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
прикладной математики и
информатики
А.М. Райгородский**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Параллельные методы суперкомпьютерных вычислений
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: И.Н. Коньшин, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры математических основ управления 15.05.2020

Аннотация

Курс «Параллельные методы суперкомпьютерных вычислений» связан с самыми современными тенденциями развития вычислительной техники. В нём рассматриваются технологии параллельного программирования для вычислительных систем с общей распределенной памятью на основе OpenMP, MPI, Cuda и др.

Большое внимание уделяется параллельным алгоритмам линейной алгебры, математической физики, методов оптимизации. Изучается эффективность их параллельной реализации на современном вычислительном кластере.

В рамках курса студенты выполняют практические задания по реализации выбранных параллельных алгоритмов и исследованию их параллельной эффективности.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Формирование у студентов знаний и навыков работы с параллельных алгоритмов линейной алгебры, математической физики, методов оптимизации; технологиями параллельного программирования для вычислительных систем с общей распределенной памятью на основе OpenMP, MPI, Cuda и др.

Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) в области разработки параллельных численных методов как дисциплины, обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области разработки параллельных численных методов и алгоритмов;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических исследований и их практической реализации в области параллельных вычислений.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ фундаментальные понятия, законы, теории параллельных алгоритмов и распределённых вычислений;
- ☐ современные проблемы соответствующих разделов линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ основные свойства соответствующих математических объектов;
- ☐ новейшие численные методы эффективного решения задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ постановку проблем увеличения эффективности параллельных вычислений в задачах линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации.

уметь:

- ☐ понять поставленную задачу;
- ☐ использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ оценивать корректность постановок задач;
- ☐ строго доказывать или опровергать утверждение;
- ☐ самостоятельно находить алгоритмы решения на параллельной вычислительной технике задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- ☐ самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- ☐ определять набор средств, могущих быть инструментом исследования задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ пользоваться справочной литературой научного и прикладного характера для быстрого поиска необходимых математических и технических данных и алгоритмов;
- ☐ давать экспертную оценку финальным результатам решения.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации и решения задач дискретной оптимизации;
- ☐ навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- ☐ культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов распараллеливания вычислений и методов линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ предметным языком распределённых вычислений и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.
- ☐ навыками компьютерной обработки информации - разработки собственных программ для параллельных вычислительных систем, а также освоением готового программного обеспечения .

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	Многопроцессорные вычислительные системы. Вычислительные системы с общей памятью. Вычислительные системы с распределенной памятью.	10	10		10
2	Параллельные методы вычислительной математики. Прямые методы решения систем линейных уравнений. Итерационные методы решения систем линейных уравнений. Параллельные методы линейного программирования.	10	10		10

3	Задачи дискретной оптимизации и метод динамического программирования. Метод ветвей и границ. Параллельные методы для решения задач дискретной оптимизации.	10	10		10
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 8 (Весенний)

1. Многопроцессорные вычислительные системы. Вычислительные системы с общей памятью. Вычислительные системы с распределенной памятью.

Классификация многопроцессорных вычислительных систем. Архитектуры с общей и распределенной памятью. Статический и динамический параллелизм. Параллельные вычисления. Основные понятия: параллельная эффективность, ускорение. Измерение параллельной производительности.

Произвольный доступ к памяти, PRAM архитектура. Программный интерфейс OpenMP. Программирование в языках C и Fortran. Процессы, вычислительные нити, потоки. Синхронизация доступа к общим данным, семафоры. Примеры программ.

Вычислительные системы с распределенной памятью. Кластеры. Программный интерфейс MPI. Основные типы функций: инициализация вычислений, парные обмены, коллективные обмены, барьеры. Примеры программ.

2. Параллельные методы вычислительной математики. Прямые методы решения систем линейных уравнений. Итерационные методы решения систем линейных уравнений. Параллельные методы линейного программирования.

Параллельные методы вычислительной математики и математической физики. Степень параллелизма алгоритма, зернистость алгоритма. Зависимость по данным. Методы декомпозиции, разбиение области и распределение данных по процессорам.

Линейная алгебра. Прямые методы решения линейных систем уравнений. Базовые способы распределения данных по процессорам. Организация обменов. Параллельная эффективность основных алгоритмов.

Линейная алгебра. Итерационные методы решения линейных систем уравнений. Ускорение сходимости итерационных методов. Распределение данных по процессорам. Параллельная эффективность вычислений.

Задачи оптимизации. Прямая и двойственная задача. Метод Ньютона. Варианты распределения данных по процессорам, параллельная реализация и параллельная эффективность.

3. Задачи дискретной оптимизации и метод динамического программирования. Метод ветвей и границ. Параллельные методы для решения задач дискретной оптимизации.

Задачи дискретной оптимизации. Задача о ранце.

Метод динамического программирования. Структуры данных, организация обменов. Параллельная реализация.

Метод ветвей и границ. Дерево ветвления. Параллельная реализация. Балансировка дерева вычислений. Пороговое число ветвлений. Комбинированные алгоритмы.

Другие задачи дискретной оптимизации и параллельные версии их решения. Задачи транспортного типа. Задачи теории графов.

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

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий: компьютеры с выходом на современный вычислительный кластер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система);

Необходимое программное обеспечение: выход в интернет, информационные ресурсы, доступ к кластеру.

Обеспечение самостоятельной работы: электронная библиотека МФТИ, электронные ресурсы.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Введение в прикладное дискретное программирование [Текст] : модели и вычислительные алгоритмы : учеб. пособие для вузов / И. Х. Сигал, А. П. Иванова .— М. : Физматлит, 2002 .— 240 с.
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. Параллельные вычисления [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин .— СПб : БХВ-Петербург, 2004 .— 608 с.

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

1. Информационно-аналитические материалы по параллельным вычислениям.
<http://www.parallel.ru/>
2. Документация по MPI.
<http://www.mpi-forum.org/>
3. Документация по OpenMP.
<http://www.openmp.org>
4. Измерение производительности MPI.
<http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpi/mpptest/>

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 используется работа с высокопроизводительным вычислительным кластером, вычислительными системами с общей распределенной памятью на основе OpenMP, MPI, Cuda и др., а также мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Используются электронные учебники.

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

Студент, изучающий курс "Параллельные методы суперкомпьютерных вычислений", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, средства, методы и алгоритмы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

– чтение и конспектирование рекомендованной литературы,

- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, разработку алгоритмов и программ, предлагаемых студентам на практических занятиях и в качестве курсового задания,
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

Литература для самостоятельной работы:

1. Сигал И.Х., Иванова А.П. Методы оптимизации. Начальный курс. Часть 1-2. Курс лекций. – М.: МИИТ, 2006.
2. Посыпкин М.А., Сигал И.Х., Галимьянова Н.Н. Параллельные алгоритмы в задачах дискретной оптимизации: вычислительные модели, библиотека, результаты экспериментов. – М.: ВЦ РАН, 2006.
3. Group W., Lusk E., Skjellum A. Using MPI. Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface. – MIT Press, 1994.
4. Snir M., Otto S., Huss-Lederman S., Walker D., Dongarra J. – MPI: The Complete Reference. MIT Press, Boston, 1996.
5. Chandra R., Dagum L., Kohr D., Maydan D., McDonald J., Melon R. Parallel Programming in OpenMP. – Morgan Kaufmann Publishers, 2000.
6. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: учебное пособие. – М.: МГУ, 2009. <http://parallel.ru/info/parallel/openmp/>
7. Foster I. Designing and Building Parallel Programs. <http://www.mcs.anl.gov/~itf/dbpp/>
8. Документация по MPI. <http://www.mpi-forum.org/>
9. Документация по OpenMP. <http://www.openmp.org>
10. Измерение производительности MPI. <http://www.mcs.anl.gov/research/projects/mpi/mpptest/>
11. Kumar V., Grama A., Gupta A., Karypis G. Introduction to Parallel Computing. – The Benjamin/Cummings Publishing Company, 2003.
12. Ортега Дж. Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем. – М.: Мир, 1991.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра математических основ управления
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: И.Н. Коньшин, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Параллельные методы суперкомпьютерных вычислений» обучающийся должен:

знать:

- ☐ фундаментальные понятия, законы, теории параллельных алгоритмов и распределённых вычислений;
- ☐ современные проблемы соответствующих разделов линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ основные свойства соответствующих математических объектов;
- ☐ новейшие численные методы эффективного решения задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ постановку проблем увеличения эффективности параллельных вычислений в задачах линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации.

уметь:

- ☐ понять поставленную задачу;
- ☐ использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ оценивать корректность постановок задач;
- ☐ строго доказывать или опровергать утверждение;
- ☐ самостоятельно находить алгоритмы решения на параллельной вычислительной технике задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- ☐ самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- ☐ определять набор средств, могущих быть инструментом исследования задач линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ пользоваться справочной литературой научного и прикладного характера для быстрого поиска необходимых математических и технических данных и алгоритмов;
- ☐ давать экспертную оценку финальным результатам решения.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации и решения задач дискретной оптимизации;
- ☐ навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- ☐ культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов распараллеливания вычислений и методов линейной алгебры, математической физики, дискретной оптимизации;
- ☐ предметным языком распределённых вычислений и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.
- ☐ навыками компьютерной обработки информации - разработки собственных программ для параллельных вычислительных систем, а также освоением готового программного обеспечения .

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

В качестве практических курсовых заданий студентам предлагается применить знания теории к разработке собственных программ для параллельных вычислительных систем, освоить готовое программное обеспечение, а также исследовать их параллельную эффективность .

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

1. Многопроцессорные вычислительные системы, их классификация.
2. Архитектуры с общей и распределенной памятью. Статический и динамический параллелизм.
3. Параллельные вычисления. Основные понятия: параллельная эффективность, ускорение. Измерение параллельной производительности.
4. Вычислительные системы с общей памятью. Произвольный доступ к памяти, PRAM архитектура.
5. Программный интерфейс OpenMP.
6. Программирование в языках C и Fortran. Процессы, вычислительные нити, потоки. Синхронизация доступа к общим данным, семафоры. Примеры программ.
7. Вычислительные системы с распределенной памятью. Кластеры.
8. Программный интерфейс MPI.
9. Основные типы функций: инициализация вычислений, парные обмены, коллективные обмены, барьеры. Примеры программ.
10. Параллельные методы вычислительной математики. Степень параллелизма алгоритма, зернистость алгоритма. Зависимость по данным.
11. Методы декомпозиции, разбиение области и распределение данных по процессорам.
12. Линейная алгебра. Прямые методы решения линейных систем. Базовые способы распределения данных по процессорам. Организация обменов. Параллельная эффективность основных алгоритмов.
13. Линейная алгебра. Итерационные методы решения линейных систем. Ускорение сходимости итерационных методов. Распределение данных по процессорам. Параллельная эффективность вычислений.
14. Параллельные методы линейного программирования.
15. Задачи оптимизации. Прямая и двойственная задача. Метод Ньютона. Варианты распределения данных по процессорам, параллельная реализация и параллельная эффективность.
16. Задачи дискретной оптимизации. Задача о ранце. Метод динамического программирования. Структуры данных, организация обменов. Параллельная реализация.
17. Метод ветвей и границ. Дерево ветвления. Параллельная реализация. Балансировка дерева вычислений. Пороговое число ветвлений. Комбинированные алгоритмы.
18. Методы динамического программирования, параллельная реализация МДП для задачи о ранце.
19. Алгоритмы приближенного решения задачи о коммивояжере (декомпозиция, параллельное решение подзадач, приближенное решение).

Итоговая аттестация по курсу проводится в форме дифференцированного зачёта.

Примеры билетов для сдачи дифференцированного зачёта

Билет №1

1. Вычислительные системы с общей памятью.
2. Задачи дискретной оптимизации. Задача о ранце.

Билет №2

1. Параллельные методы вычислительной математики
2. Метод ветвей и границ.

Критерии оценивания

Оценка

отлично 10: оценка «отлично (10)» 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

отлично 9: оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений

отлично 8: оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение применять их на практике при решении конкретных задач, и правильное обоснование принятых решений

хорошо 7: оценка «хорошо (7)» 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;

хорошо 6: оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

хорошо 5: оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал, и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

удовлетворительно 4: 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 владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

удовлетворительно 3: оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет фрагментарно основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

неудовлетворительно 2: оценка «неудовлетворительно (2)» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач

неудовлетворительно 1: 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

Итоговая оценка за курс выставляется с учётом выполненных курсовых заданий и результатов дополнительного опроса, проводимого в устной форме.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины и компьютером.