**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теоретические основы параллельного программирования

Theoretical Fundamentals of Parallel Programming

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 002217

Санкт-Петербург

2020

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Дисциплина «Теоретические основы параллельного программирования» является одной из основных дисциплин цикла, формирующего подготовку обучающегося в области высокоэффективных вычислений на современных вычислительных системах. Она представляет собой комплекс знаний, умений и навыков, позволяющих овладеть основами теории параллельных вычислений на современных многопроцессорных компьютерах, а также получить некоторые представления о практическом применении распараллеливания, его реализуемость, оптимизацию времени работы по его созданию и отладке.

Дисциплина строится на принципах компетентностного, деятельностного подхода к вычислениям как средству обоснованного проведения различных расчетов, с применением высокопроизводительных компьютеров с распределенной памятью, что предполагает классификацию содержания обучения по следующим видам деятельности: изучение основных концепций параллельного программирования, изучение средств распараллеливания, изучение элементов программирования, составление алгоритмов, проведение простейших вычислений.

Основным методологическим принципом построения программы дисциплины, равно как и всей концепции обучения основам распараллеливания в целом, является принцип поэтапного системного накопления знаний и формирования необходимых компетенций по модели: от простого и/или знакомого - к сложному и/или незнакомому, а основной методологической стратегией прохождения отдельных разделов программы является ступенчатость и цикличность, предусматривающие постепенный возврат к ранее усвоенному материалу на более высоком языковом и концептуальном уровне.

Цель изучения дисциплины: обучение методам распараллеливания вычислений с использованием мощных вычислительных систем с распределенной памятью, развитие у студентов доказательного, логического мышления; знакомство с различными языками, применяемыми на упомянутых системах, подготовка к самостоятельному решению различных алгоритмических задач с использованием этих систем.

Результатом учебных занятий явятся усвоение методов распараллеливания вычислений с использованием мощных вычислительных систем, развитие у студентов доказательного, логического мышления; знакомство с различными языками, применяемыми на упомянутых системах, возможность самостоятельно решать простые алгоритмические задачи с использованием этих систем.

**1.2. Требования подготовленности обучающегося к освоению содержания учебных занятий (пререквизиты)**

Для успешного освоения дисциплины обучающийся должен иметь предварительную подготовку по дисциплинам - информатики и программирования, изучаемых на I-II курсах математико-механического факультета СПбГУ.

**1.3. Перечень результатов обучения (learning outcomes)**

Обучающийся должен знать содержания дисциплины «Теоретические основы параллельного программирования» и обладать достаточно полным представлением о возможностях применения разделов дисциплины в различных прикладных областях науки и техники; уметь проводить вычисления на современных высокопроизводительных вычислительных системах с общей памятью в соответствии с программой курса.

Дисциплина «Теоретические основы параллельного программирования» развивает способности дальнейшего освоения методов распараллеливания вычислений, способами и средствами организации параллельных потоков на вычислительных системах с распределенной и общей памятью, развития навыков работы с компьютером как средством управления информацией.

**1.4. Перечень и объём активных и интерактивных форм учебных занятий**

Аудиторная учебная работа: лекции в объеме 3 часа в неделю в 6-м семестре.

В конце семестра предусмотрены консультация и экзамен. Интерактивная форма учебных занятий (4 часа в течение семестра) заключается в дискуссиях по некоторым разделам дисциплины.

**Раздел 2. Организация, структура и содержание учебных занятий**

**2.1. Организация учебных занятий**

**2.1.1 Основной курс**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Трудоёмкость, объёмы учебной работы и наполняемость групп обучающихся | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины,  практики и т.п. | Контактная работа обучающихся с преподавателем | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа | | | | Объём активных и интерактивных  форм учебных занятий | Трудоёмкость |
| лекции | семинары | консультации | практические  занятия | лабораторные работы | Контрольные работы | коллоквиумы | текущий контроль | промежуточная  аттестация | итоговая аттестация | под руководством преподавателя | в присутствии  преподавателя | сам. раб. с использованием  методических материалов | текущий контроль (сам.раб.) | промежуточная аттестация (сам.раб.) | итоговая аттестация  (сам.раб.) |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Форма обучения: очная | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Семестр 6 | 45 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 30 |  | 29 |  | 4 | 3 |
|  | 1-25 |  | 1-26 |  |  |  |  |  | 1-25 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 45 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 30 |  | 29 |  |  | 3 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Виды, формы и сроки текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | | | | | | |
| Код модуля в составе дисциплины, практики и т.п. | Формы текущего контроля успеваемости | | Виды промежуточной аттестации | | Виды итоговой аттестации  (только для программ итоговой аттестации и дополнительных образовательных программ) | |
| Формы | Сроки | Виды | Сроки | Виды | Сроки |
| ОСНОВНАЯ ТРАЕКТОРИЯ | | | | | | |
| Форма обучения очная | | | | | | |
| Семестр 6 |  |  | экзамен, устно, традиционная форма | по графику промежуточной аттестации |  |  |

* 1. **Структура и содержание учебных занятий**

Период обучения (модуль): Семестр 6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование темы (раздела, части) | Вид учебных занятий | Количество часов |
| I. | Параллельные компьютеры и вычисления (тренды в приложениях, в конструировании компьютеров, в сетевых технологиях).  Об архитектуре и классификации параллельных компьютеров (симметрические мультипроцессоры, векторно-конвейерные системы, параллельные кластеры, массивно-параллельные системы). | лекции | 7 |
| сам. раб. по методическим материалам | 5 |
| II. | Модели параллельных программ.  Примеры параллельных алгоритмов (метод конечных разностей, поиск и т.п.).  Структуры параллельных программ. Декомпозиция (области, функциональная, данных). | лекции | 7 |
| сам. раб. по методическим материалам | 5 |
| III. | Коммуникация (локальная, глобальная, динамическая, асинхронная).  Агломерация (гранулированность, поверхностно-объемный эффект, репликация, гибкость).  Отображение алгоритма на вычислительную систему (балансировка, когерентность, синхронизация).  Способы распределения заданий (центральное управление, иерархический метод, децентрализованные схемы). | лекции | 8 |
| сам. раб. по методическим материалам | 5 |
| IV. | Пример: атмосферная модель (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение).  Пример: оптимизация компоновок (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение).  Пример: задача вычислительной химии (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение). | лекции | 7 |
| сам. раб. по методическим материалам | 5 |
| V. | Производительность (модели производительности, законы Амдала, экстраполяция по наблюдениям, асимптотический анализ).  Время обработки задачи (время вычислений, время коммуникаций, время ожидания).  Масштабирования (масштабируемость вычислительной системы, масштабируемость задачи при фиксированном размере, масштабируемость задачи при переменном размере, профили обработки).  Роль численного эксперимента при распараллеливании (организация эксперимента, получение и проверка исходных данных, выбор модели и данных).  Стоимость коммуникаций (ширина шины, коммутатор, топологии сети).  Алгоритмы кратчайших путей (Флойда, Дейкстры) и их распараллеливание. | лекции | 8 |
| сам. раб. по методическим материалам | 5 |
| VI. | О средствах распараллеливания при программировании.  Интерфейс MPI. Основная идея интерфейса.  Средства распараллеливания в MPI. Простейшие программы с использованием MPI.  Достоинства и недостатки интерфейса MPI.  Об интерфейсе Open MP. Основные концепции этого интерфейса.  Описание средств распараллеливания в интерфейсе Open MP.  Примеры параллельных программ, использующих интерфейс Open MP. | лекции | 8 |
| сам. раб. по методическим материалам | 5 |
| VII. | Промежуточная аттестация | консультация | 2 |
| самост. работа | 29 |
| экзамен | 2 |
| **Итого** | | | **108** |

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1 Методические указания по освоению дисциплины**

По дисциплине «Теоретические основы параллельного программирования» все студенты должны быть обеспечены литературой, рекомендованной по курсу.

**3.1.2 Методическое обеспечение самостоятельной работы**

При выполнении самостоятельной работы обучающему необходимо знать содержание курса, уметь формулировать определения основных понятий, уметь применять различные методы для решения конкретных задач. При подготовке к самостоятельной работе целесообразно использовать рекомендованную обязательную и дополнительную литературу, а также сведения из сети Интернет.

Перечень примерных контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы:

Параллельные компьютеры и вычисления (тренды в приложениях, в конструировании компьютеров, в сетевых технологиях).

Об архитектуре и классификации параллельных компьютеров (симметрические мультипроцессоры, векторно-конвейерные системы, параллельные кластеры, массивно-параллельные системы).

Модели параллельных программ.

Примеры параллельных алгоритмов (метод конечных разностей, поиск и т.п.).

Структуры параллельных программ. Декомпозиция (области, функциональная, данных).

Коммуникация (локальная, глобальная, динамическая, асинхронная).

Агломерация (гранулированность, поверхностно-объемный эффект, репликация, гибкость).

Отображение алгоритма на вычислительную систему (балансировка, когерентность, синхронизация).

Способы распределения заданий (центральное управление, иерархический метод, децентрализованные схемы).

Пример: атмосферная модель (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение).

Пример: оптимизация компоновок (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение).

Пример: задача вычислительной химии (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение).

Производительность (модели производительности, законы Амдала, экстраполяция по наблюдениям, асимптотический анализ).

Время обработки задачи (время вычислений, время коммуникаций, время ожидания).

Масштабирования (масштабируемость вычислительной системы, масштабируемость задачи при фиксированном размере, масштабируемость задачи при переменном размере, профили обработки).

Роль численного эксперимента при распараллеливании (организация эксперимента, получение и проверка исходных данных, выбор модели и данных).

Стоимость коммуникаций (ширина шины, коммутатор, топологии сети).

Алгоритмы кратчайших путей (Флойда, Дейкстры) и их распараллеливание.

О средствах распараллеливания при программировании.

Интерфейс MPI. Основная идея интерфейса.

Средства распараллеливания в MPI. Простейшие программы с использованием MPI.

Достоинства и недостатки интерфейса MPI.

Об интерфейсе Open MP. Основные концепции этого интерфейса.

Описание средств распараллеливания в интерфейсе Open MP.

Примеры параллельных программ, использующих интерфейс Open MP.

**3.1.3 Методика проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации и критерии оценивания**

По дисциплине «Теоретические основы параллельного программирования» в конце учебного семестра проводится экзамен.

Методика проведения экзамена.

Экзамен проводится в устной форме. Билет содержит 2 вопроса из списка вопросов к экзамену. На подготовку к ответу в аудитории отводится не менее 1 академического часа.

После ответа на вопросы билета, преподаватель вправе задать дополнительные вопросы по любой теме из списка вопросов, вынесенных на экзамен. В качестве дополнительных, используются вопросы, не требующие длительного вывода и трудоемких вычислений, в том числе определения, основные формулы, основные графики. Так же в качестве дополнительного вопроса может быть предложена задача по темам, указанным выше.

Критерии выставления оценок за ответ на экзамене.

Оценка **A** («отлично») ставится студенту, полностью овладевшему теоретическим материалом и продемонстрировавшему принципы его применения на практике. Даны правильные полные ответы на вопросы билета и дополнительные вопросы. Допустимо исправление одной-двух неточностей после замечания преподавателя.

Оценка **B** («хорошо») ставится студенту, полностью овладевшему основным теоретическим материалом и основными принципами его применения на практике, допустившим, однако, ошибки во второстепенных деталях. При этом студент демонстрирует способность исправить ошибки после просьбы преподавателя об уточнении ошибочных утверждений.

Оценка **С** («хорошо») ставится студенту, если он дал на 75 % правильный ответ на вопросы билета и дополнительные вопросы. При этом студент должен показать способность активного владения теоретическим материалом и применения на практике и исправления указанных преподавателем ошибок.

Оценка **D** («удовлетворительно») ставится студенту, имеющему пробелы в овладении теоретическим материалом или в его применении на практике. При этом только 60--65% ответа верна, и студент испытывает затруднения с исправлением ошибок, указанных преподавателем.

Оценка **E** («удовлетворительно») ставится студенту, имеющему пробелы как в овладении теоретическим материалом, так и в его применении на практике, если эти пробелы не являются решающими и студент хорошо освоил более половины материала, покрытого вопросами. Студент не способен исправить все неточности, замеченные преподавателем, но активно владеет освоенной частью материала.

Оценка **F** («неудовлетворительно») ставится студенту, имеющему существенные пробелы в овладении теоретическим материалом и в его применении на практике. Ответ на один из вопросов содержит принципиальные ошибки, или только частичный (в том числе, отсутствует), или при ответе не продемонстрировано понимание предмета вопроса.

**3.1.4 Методические материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации (контрольно-измерительные материалы, оценочные средства)**

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Параллельные компьютеры и вычисления (тренды в приложениях, в конструировании компьютеров, в сетевых технологиях).
2. Об архитектуре и классификации параллельных компьютеров (симметрические мультипроцессоры, векторно-конвейерные системы, параллельные кластеры, массивно-параллельные системы).
3. Модели параллельных программ.
4. Примеры параллельных алгоритмов (метод конечных разностей, поиск и т.п.).
5. Структуры параллельных программ. Декомпозиция (области, функциональная, данных).
6. Коммуникация (локальная, глобальная, динамическая, асинхронная).
7. Агломерация (гранулированность, поверхностно-объемный эффект, репликация, гибкость).
8. Отображение алгоритма на вычислительную систему (балансировка, когерентность, синхронизация).
9. Способы распределения заданий (центральное управление, иерархический метод, децентрализованные схемы).
10. Пример: атмосферная модель (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение).
11. Пример: оптимизация компоновок (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение).
12. Пример: задача вычислительной химии (декомпозиция, коммуникация, агломерация, отображение).
13. Производительность (модели производительности, законы Амдала, экстраполяция по наблюдениям, асимптотический анализ).
14. Время обработки задачи (время вычислений, время коммуникаций, время ожидания).
15. Масштабирования (масштабируемость вычислительной системы, масштабируемость задачи при фиксированном размере, масштабируемость задачи при переменном размере, профили обработки).
16. Роль численного эксперимента при распараллеливании (организация эксперимента, получение и проверка исходных данных, выбор модели и данных).
17. Стоимость коммуникаций (ширина шины, коммутатор, топологии сети).
18. Алгоритмы кратчайших путей (Флойда, Дейкстры) и их распараллеливание.
19. О средствах распараллеливания при программировании.
20. Интерфейс MPI. Основная идея интерфейса.
21. Средства распараллеливания в MPI. Простейшие программы с использованием MPI.
22. Достоинства и недостатки интерфейса MPI.
23. Об интерфейсе Open MP. Основные концепции этого интерфейса.
24. Описание средств распараллеливания в интерфейсе Open MP.
25. Примеры параллельных программ, использующих интерфейс Open MP.

**3.1.5 Методические материалы для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса**

Для оценки обучающимися содержания и качества учебного процесса применяется анкетирование в соответствии с методикой и графиком, утвержденными в установленном порядке.

**3.2. Кадровое обеспечение**

**3.2.1 Образование и (или) квалификация штатных преподавателей и иных лиц, допущенных к проведению учебных занятий**

К преподаванию дисциплины могут быть допущены преподаватели, имеющие диплом о высшем образовании по соответствующему направлению.

**3.2.2 Обеспечение учебно-вспомогательным и (или) иным персоналом**

Учебно-вспомогательный и инженерно-технический персонал должен иметь соответствующее образование и обладать навыками организации работы с пользовательскими программными продуктами в локальной сети компьютерного класса и в Интернете.

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

**3.3.1 Характеристики аудиторий (помещений, мест) для проведения занятий**

Для проведения занятий желательно выделение компьютерного класса и/или аудитории для проведения интерактивных лекций: видеопроектор, экран настенный, др. оборудование.

**3.3.2 Характеристики аудиторного оборудования, в том числе неспециализированного компьютерного оборудования и программного обеспечения общего пользования**

Программное обеспечение общего пользования должно быть не ниже MS Office 2003.

**3.3.3 Характеристики специализированного оборудования**

Не требуется.

**3.3.4 Характеристики специализированного программного обеспечения**

Не требуется.

**3.3.5 Перечень и объёмы требуемых расходных материалов**

Фломастеры цветные, губки, бумага формата А4, канцелярские товары, картриджи принтеров, диски, флеш-накопители и др. в объёме, необходимом для организации и проведения занятий, по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1 Список обязательной литературы**

1. В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. Параллельные вычисления. СПб. 2004.

2. И.Г. Бурова, Ю.К. Демьянович. Алгоритмы параллельных вычислений и программирование. Курс лекций. СПб. 2007.

**3.4.2 Список дополнительной литературы**

1. В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. Сетевые операционные системы. СПб., 2009.

2. А. П. Пятибратов, Л. П. Гудыно, А. А. Кириченко. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. М.: Финансы и статистика, 2013.

3. Ian Foster. Designing and Building Parallel Program. <http://www.parallel.ru>.

**3.4.3 Перечень иных информационных источников**

1. Электронный источник http://www.parallel.ru

**Раздел 4. Разработчики программы**

Демьянович Юрий Казимирович, доктор ф-м.н., профессор, зав. кафедрой параллельных алгоритмов, y.demjanovich@spbu.ru