**Санкт-Петербургский государственный университет**

**Р А Б О Ч А Я П Р О Г Р А М М А**

**УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Параллельные вычисления с использованием графических процессоров

Parallel Computing with GPU-technology

**Язык(и) обучения**

русский

Трудоемкость в зачетных единицах: 3

Регистрационный номер рабочей программы: 038180

Санкт-Петербург

2020

**Раздел 1. Характеристики учебных занятий**

**1.1. Цели и задачи учебных занятий**

Дать обучающимся достаточно полное представление об основах технологии параллельного программирования CUDA и OpenCL для современных графических ускорителей.

Результатами учебных занятий являются: освоение основных принципов параллельного программирования для графических ускорителей. Использование новых идей и новой технологии позволит использовать все возможности современных процессоров и графических ускорителей для получения решения сложных многомерных задач с помощью современных языков программирования.

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

Дисциплина рассчитана на обучающихся, изучавших в пределах бакалаврской подготовки параллельное программирование, вычислительную математику и владеющих навыками работы с компьютером.

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

В процессе изучения дисциплины обучающиеся приобретают следующие

знания:

об архитектурах массивно-параллельных вычислительных систем;

умения:

владеть основными приемами программирования с использованием ускорителей NVidia и ATI;

применять модель распараллеливания CUDA и OpenCL для обработки больших объемов цифровых данных;

навыки:

реализации методов численного анализа на параллельных системах и проведения теоретических оценок эффективности полученных параллельных программ;

оптимизации программного кода для массивно-параллельных архитектур, находить узкие места алгоритма с учетом ограничений программной и аппаратной моделей.

Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины:

ОПК-1 – Способен применять фундаментальные знания, полученные в области математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности,

ОПК-3 – Способен применять современные информационные технологии, в том числе отечественные, при создании программных продуктов и программных комплексов различного назначения,

ОПК-4 – Способен участвовать в разработке технической документации программных продуктов и программных комплексов,

ОПК-5 – Способен инсталлировать и сопровождать программное обеспечение для информационных систем и баз данных, в том числе отечественного производства,

ПКА-1 – Способен демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, программирования и информационных технологий,

ПКП-1 – Способность проводить под научным руководством исследование на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности,

ПКП-2 – Способен решать задачи в области развития науки, техники и технологии с учетом нормативного правового регулирования в сфере интеллектуальной собственности,

ПКП-4 – Способен применять современные информационные технологии при проектировании, реализации, оценке качества и анализа эффективности программного обеспечения для решения задач в различных предметных областях,

ПКП-5 – Способен использовать основные методы и средства автоматизации проектирования, реализации, испытаний и оценки качества при создании конкурентоспособного программного продукта и программных комплексов, а также способен использовать методы и средства автоматизации, связанные с сопровождением, администрированием и модернизацией программных продуктов и программных комплексов,

ПКП-6 – Способен использовать знания направлений развития компьютеров с традиционной (нетрадиционной) архитектурой; современных системных программных средств: операционных систем, операционных и сетевых оболочек, сервисных программ; тенденции развития функций и архитектур проблемно-ориентированных программных систем и комплексов в профессиональной деятельности,

ПКП-8 – Способен использовать современные методы разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ моделирования,

УКБ-3 – Способен понимать сущность и значение информации в развитии общества, использовать основные методы получения и работы с информацией с учетом современных технологий цифровой экономики и информационной безопасности.

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

Объём занятий в активных формах: 4 ак.ч. — лекции, предполагающие дискуссию с преподавателем.

**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 | 30 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 46 |  | 28 |  | 4 | 3 |
|  | 1-25 |  | 1-25 |  |  |  |  |  | 1-25 |  |  |  | 1-1 |  | 1-1 |  |  |  |
| ИТОГО | 30 |  | 2 |  |  |  |  |  | 2 |  |  |  | 46 |  | 28 |  |  | 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 |  |  |

**2.2. Структура и содержание учебных занятий**

**Базовыйкурс Основная траектория Очная форма обучения**

Период обучения: **Семестр 6**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **№ п.п.** | **Наименование темы (раздела, части)** | **Вид учебных занятий** | **Кол-во часов** | | 1 | Тема 1. Архитектура CPU и GPU. Основные понятия. | лекции | 4 | | по методическим материалам | 7 | | 2 | Тема 2. Программная модель CUDA. | лекции | 4 | | по методическим материалам | 8 | | 3 | Тема 3. Программная модель OpenCL. | лекции | 5 | | по методическим материалам | 8 | | 4 | Тема 4. Модель памяти GPU. | лекции | 6 | | по методическим материалам | 8 | | 5 | Тема 5. Некоторые методы линейной алгебры и их распараллеливание. | лекции | 8 | | по методическим материалам | 8 | | 6 | Тема 6. Параллельная реализация дискретного преобразования Фурье. | лекции | 3 | | по методическим материалам | 7 | | 7 | Промежуточная аттестация | Консультация | 2 | | Самостоятельная работа | 28 | | Экзамен | 2 | | **Итого** | | | **108** | |
|  |

**Тема 1. Архитектура CPU и GPU. Основные понятия.**

История развития вычислительных систем. Типы параллелизма. Критерии применимости параллельных вычислений. Сравнение классической архитектуры Intel и AMD. Принципиальное отличие классической и GPU архитектуры. Объединенная архитектура графических процессоров. Преимущества унифицированной архитектуры.

**Тема 2. Программная модель CUDA.**

Программный стек CUDA. Команды работы с памятью. Пример вызова CUDA. Понятия WorkItem, WorkGroup и Warp. Команды работы с памятью. Компиляция и запуск CUDA программ.

**Тема 3. Программная модель OpenCL.**

Понятия Host и Device. Контекст и очередь исполнения. Сборка и запуск ядер на устройствах. Понятия WorkItem, WorkGroup и Warp. Команды работы с памятью. Компиляция и запуск OpenCL программ.

**Тема 4. Модель памяти GPU.**

Глобальная, константная, текстурная, локальная, разделяемая и регистровая память. Размещение различных данных в различной памяти. Сравнения производительности глобальной и текстурной памяти на задачах произвольного чтения. Использование Scan, Reduce, Histogram, Bitonicsort. Использование текстурной памяти. Использование аппаратной интерполяции. Отличия модели исполнения, работы с текстурами, сборки и компиляции программ OpenCL от CUDA.

**Тема 5. Некоторые методы линейной алгебры и их распараллеливание.**

Распараллеливание умножения матрицы на вектор. Распараллеливание перемножения матриц. Об LU-разложении. Распараллеливание LU-разложения трехдиагональной матрицы. Распараллеливание отыскания обратной матрицы. Метод исключения Гаусса, разложение Холецкого, метод прогонки, метод простой итерации, метод верхней релаксации, метод сопряженных градиентов. Способы их распараллеливания.

**Тема 6. Параллельная реализация дискретного преобразования Фурье.**

Параллельная реализация дискретного преобразования Фурье.

**Раздел 3. Обеспечение учебных занятий**

**3.1. Методическое обеспечение**

**3.1.1. Методические указания по освоению дисциплины**

Успешное освоение дисциплины возможно благодаря посещению занятий, участию в обсуждении вопросов, подготовленных к занятию, самостоятельной работе, включающей в себя чтение специальной литературы по разделам темы, подготовка презентаций по тематике курса.

**3.1.2. Методическое обеспечение самостоятельной работы**

Самостоятельная работа обучающихся в рамках данной дисциплины является важным компонентом обучения, предусмотренным компетентностно-ориентированным учебным планом и рабочей программой учебной дисциплины.

Настоящей программой предусмотрены формы самостоятельной работы с использованием методических материалов.

Одна из форм самостоятельной работы – это подготовка презентаций и сообщений по тематике курса и источникам, указанным в обязательной, дополнительной литературе и интернет-источниках, указанных в данной программе.

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

*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 всем темам, указанным выше.

Критерии выставления оценок за ответ на экзамене.

Оценка «отлично» выставляется, если выполняются оба условия:

1. обучающимся даны полные исчерпывающие ответы по всем вопросам билета, обучающийся свободно ориентируется в материале;
2. обучающийся отвечает на все дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо» выставляется, если выполняются оба условия

1. обучающимся дан полный ответ на один из вопросов билета, по второму вопросу написаны все определения, основные формулы и графики (в случае наличия);
2. обучающийся отвечает более чем на 3/4 дополнительных вопросов.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если выполняются оба условия

1. по обоим вопросам написаны все основные определения, формулы и графики (в случае наличия);
2. обучающийся дает правильный ответ более чем на половину заданных дополнительных вопросов.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если не выполняются условия для получения оценок «отлично», «хорошо» и «удовлетворительно».

Оценка **A** (оценка «отлично»)

Обучающийся при ответе на все вопросы билета и дополнительные вопросы демонстрирует полное понимание предмета вопроса, дает исчерпывающие ответы. Обучающийся имеет возможность исправить неточности после указания на них экзаменатором.

Оценка **B** (оценка «хорошо»)

Обучающийся при ответе на все вопросы билета и дополнительные вопросы демонстрирует понимание предмета вопроса, большинство ответов полные и правильные. Обучающийся способен дать полные и правильные ответы после уточнений, сделанных экзаменатором.

Оценка **C** (оценка «хорошо»)

Обучающийся при ответе на все вопросы билета и дополнительные вопросы демонстрирует понимание предмета вопроса, большинство ответов полные и правильные. Обучающийся способен дать полные и правильные ответы после указания экзаменатором на неточности.

Оценка **D** (оценка «удовлетворительно»)

Обучающийся в ответе на один из вопросов билета допустил некоторые ошибки и не смог их исправить после указания на них экзаменатором. Обучающийся отвечает более чем на половину дополнительных вопросов.

Оценка **E** (оценка «удовлетворительно»)

Обучающийся в ответах на оба вопроса билета допустил некоторые ошибки и не смог их исправить даже после указания на них экзаменатором. Обучающийся отвечает более чем на половину дополнительных вопросов.

Оценка **F** (оценка «неудовлетворительно»)

Обучающийся не выполнил критерии для получения оценок A, B, C, D, E.

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

*Примерный краткий перечень вопросов к зачету.*

1. Системы с общей памятью, с разделяемой памятью, гибридные системы.
2. Параллелизм по управлению. Консистентность памяти, синхронизация.
3. Программная модель CUDA.
4. Программная модель OpenCL.
5. Оптимизация алгоритмов работы с массивами для графического процессора.
6. Динамическая балансировка загрузки нескольких ядер в рамках одной задачи.
7. Распараллеливание программы на несколько графических процессоров. Анализ загрузки процессоров.
8. Распараллеливание умножения матрицы на вектор.
9. Распараллеливание перемножения матриц. Об LU-разложении.
10. Распараллеливание LU-разложения трехдиагональной матрицы.
11. Распараллеливание отыскания обратной матрицы.
12. Метод исключения Гаусса.
13. Разложение Холецкого.
14. Метод прогонки.
15. Метод простой итерации.
16. Метод верхней релаксации.
17. Метод сопряженных градиентов.
18. Параллельная реализация дискретного преобразования Фурье.

**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 проведению учебных занятий привлекаются преподаватели, имеющие базовое образование и/или ученую степень, соответствующую профилю преподаваемой дисциплины.

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

Не требуется

**3.3. Материально-техническое обеспечение**

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

Стандартно оборудованные лекционные аудитории для проведения интерактивных лекций: видеопроектор, экран, др. оборудование.

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

Intel Parallel Studio

**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 А3 (для блокнота-доски), канцелярские товары в объеме, необходимом для организации и проведения занятий по заявкам преподавателей, подаваемым в установленные сроки, доступ преподавателя и обучающихся в компьютерные классы.

**3.4. Информационное обеспечение**

**3.4.1. Список обязательной литературы**

1. Спецификация OpenCL <http://developer.amd.com>.
2. Спецификация CUDA <http://developer.nvidia.com>.

**3.4.2. Список дополнительной литературы**

1. Боресков А.В. Основы работы с технологией CUDA. / А.В. Боресков, А.А. Харламов. – Москва: ДМК-Пресс, 2010.

**3.4.3. Перечень иных информационных источников**

1. <http://www.intuit.ru>.
2. <http://www.hpcu.ru>.

**Раздел 4. Разработчики программы**

Макаров Антон Александрович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры параллельных алгоритмов, a.a.makarov@spbu.ru