

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования_
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Программирование для графических процессоров

Уровень высшего образования

Бакалавриат

Направление подготовки / специальность

02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы

Инженерия программного обеспечения

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.01 Программирование для графических процессоров относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

| Формируемые компетенции (код, содержание компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции | | Наименование оценочного средства | |
|--|---|--|--|--|
| | Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора) | Результаты обучения по дисциплине | Для текущего контроля успеваемости | Для промежуточной аттестации |
| ПК-4: Способен проектировать программное обеспечение | <p>ПК-4.1: Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения</p> <p>ПК-4.2: Знает методы и средства проектирования программного обеспечения</p> <p>ПК-4.3: Знает методы и средства проектирования баз данных</p> <p>ПК-4.4: Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения</p> <p>ПК-4.5: Умеет применять методы и средства проектирования программного обеспечения, структур данных, баз данных</p> | <p>ПК-4.1: Знать архитектуру и принципы работы графических процессоров; Знать современные подходы к разработке, анализу и отладке программных систем на GPU.</p> <p>ПК-4.2: Знать основные модели и языки программирования графических процессоров (CUDA, OpenCL); Уметь применять эти модели и языки программирования для решения конкретных прикладных задач, эффективно используя вычислительные ресурсы современных GPU.</p> <p>ПК-4.3: Знать основные модели и языки программирования графических процессоров (CUDA, OpenCL); Уметь применять эти модели и языки программирования для решения конкретных прикладных задач, эффективно используя вычислительные ресурсы современных GPU.</p> | <p>Практическое задание</p> <p>Собеседование</p> <p>Тест</p> | <p>Зачёт:</p> <p>Контрольные вопросы</p> <p>Практическое задание</p> |

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| | | <p>ПК-4.4: Уметь оценивать целесообразность применения графического процессора для решения конкретных прикладных задач; Уметь проектировать, разрабатывать и реализовывать программное обеспечение для графических процессоров; Уметь пользоваться навыками и методиками анализа и оптимизации производительности приложений на GPU.</p> <p>ПК-4.5: Знать библиотеки для решения типовых задач на графических процессорах (BLAS, FFT, RAND, SPARSE); Уметь выбирать и применять библиотеки при разработке высокоэффективного программного обеспечения для GPU.</p> | | |
|--|--|---|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

| | |
|--|--------------------------|
| | очная |
| Общая трудоемкость, з.е. | 3 |
| Часов по учебному плану | 108 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 16 |
| - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы) | 16 |
| - КСР | 1 |
| самостоятельная работа | 75 |
| Промежуточная аттестация | 0 Зачёт |

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

| Наименование разделов и тем дисциплины | Всего (часы) | в том числе | | | |
|---|-----------------|--|--|-------------|---|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы | Всего | |
| | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 | 0 Ф 0 |
| Введение в вычисления общего назначения на GPU | 21 | 3 | 3 | 6 | 15 |
| Введение в архитектуру GPU | 18 | 3 | 3 | 6 | 12 |
| Язык CUDA C | 18 | 3 | 3 | 6 | 12 |
| Оптимизация приложений на CUDA | 18 | 3 | 3 | 6 | 12 |
| Использование стандартных библиотек CUDA | 16 | 2 | 2 | 4 | 12 |
| Программирование с использованием технологии OpenCL | 16 | 2 | 2 | 4 | 12 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 108 | 16 | 16 | 33 | 75 |

Содержание разделов и тем дисциплины

Введение в вычисления общего назначения на GPU
 Введение в архитектуру GPU
 Язык CUDA C
 Оптимизация приложений на CUDA
 Использование стандартных библиотек CUDA
 Программирование с использованием технологии OpenCL
 Введение в архитектуру Intel Many Integrated Core (MIC)
 Элементы оптимизации прикладных программ для Intel MIC
 Векторные расширения Intel MIC

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

- электронный курс "Программирование на новых архитектурах"
 (<https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=6048>).

Иные учебно-методические материалы: а) основная литература

1.Боресков А.В., Харламов А.А. Основы работы с технологией CUDA. –М.: ДМК Пресс, 2010. - 232 с. <https://e.lanbook.com/book/1260>

2.Сандерс Дж., Кэндрот Э. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров. - М.: ДМК Пресс, 2011. -232 с. <https://e.lanbook.com/book/3029>

б) дополнительная литература

3.Боресков А.В., Харламов А.А., Марковский Н.Д., Микушин Д.Н. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. –М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015. 336 с. <https://e.lanbook.com/book/73095>

4.Рутш Г., Фатика М. CUDA Fortran для инженеров и научных работников. Рекомендации по эффективному программированию на языке CUDA Fortran. –М.: ДМК Пресс, 2014. 364 с. <https://e.lanbook.com/book/58702>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1.Программное обеспечение CUDA - <https://developer.nvidia.com/cuda-downloads> (Свободное ПО)

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Выполнить реализацию алгоритма решения задачи на GPU с использованием технологии CUDA (либо OpenCL):

1. Скалярное умножение векторов;
2. Умножение матрицы на вектор;
3. Простое умножение матриц;
4. Блочное умножение матриц;
5. Численное вычисление интеграла методом прямоугольников;
6. Численное вычисление интеграла методом трапеций;
7. Численное вычисление интеграла методом Монте-Карло;
8. Решение системы линейных уравнений методом Якоби;
9. Решение системы линейных уравнений методом Зейделя;
- 10.Решение системы линейных уравнений методом верхней релаксации; Проверить корректность результатов. Сравнить время работы алгоритма на GPU со времени работы на центральном процессоре.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Код и результаты работы представлены преподавателю в срок. |
| не зачтено | Выполнены не все лабораторные работы или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, код работает некорректно, результаты работы не представлены преподавателю). |

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. Гетерогенные вычисления. Типы ускорителей для гетерогенных вычислений.
2. Методы и технологии для программирования на графических процессорах.
3. Архитектура графических процессоров от NVidia. Общее описание.
4. Иерархия памяти графических процессоров.
5. Технология CUDA. Host API.
6. Технология CUDA. Программирование на стороне GPU.
7. Технология CUDA. Иерархия памяти.
8. Подходы к оптимизации приложений на CUDA.
9. Оптимальные шаблоны доступа к памяти на GPU (разделяемой и глобальной).
10. Библиотека cuBLAS.
11. Библиотека cuFFT.
12. Библиотека cuRAND.
13. Библиотека cuSPARSE.
14. Технология OpenCL. Host API.
15. Технология OpenCL. Программирование на стороне GPU.
16. Технология OpenCL. Иерархия памяти.

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Студент дал развернутый ответ на все вопросы без существенных ошибок. |
| не зачтено | При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале. |

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

1. RAM память современных графических процессоров:

- Размещена отдельно от основной памяти CPU
- Совмещена с RAM памятью CPU
- Возможны оба варианта

2. Современные графические процессоры в сравнении с центральными процессорами характеризуются:

- Большим объемом кэш памяти на ядро и большим объемом управляющей логики на кристалле GPU
- Малым объемом кэш памяти на ядро и большим объемом управляющей логики на кристалле GPU
- Малым объемом кэш памяти на ядро и малым объемом управляющей логики на кристалле GPU
- Большим объемом кэш памяти на ядро и малым объемом управляющей логики на кристалле GPU

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------|--|
| зачтено | Как минимум 80% правильных ответов в тесте |

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--------------------------------------|
| | |
| не зачтено | Менее 80% правильных ответов в тесте |

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | плохо | неудовлетворительно | удовлетворительно | хорошо | очень хорошо | отлично | превосходно |
|--|---|--|--|---|---|--|--|
| | не зачтено | | | зачтено | | | |
| <u>Знания</u> | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет. | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. |
| <u>Умения</u> | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов |
| <u>Навыки</u> | Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и | Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и | Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

| | | | | | | | |
|--|--------|--|-----------------|------------|--|-----------|--|
| | ответа | | и недочетами | недочетами | | недочетов | |
|--|--------|--|-----------------|------------|--|-----------|--|

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

| Оценка | | Уровень подготовки |
|------------|---------------------|--|
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой |
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо». |
| | удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| не зачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно». |
| | плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Гетерогенные вычисления. Типы ускорителей для гетерогенных вычислений.
2. Методы и технологии для программирования на графических процессорах.
3. Архитектура графических процессоров от NVidia. Общее описание.
4. Иерархия памяти графических процессоров.
5. Технология CUDA. Host API.
6. Технология CUDA. Программирование на стороне GPU.
7. Технология CUDA. Иерархия памяти.
8. Подходы к оптимизации приложений на CUDA.
9. Оптимальные шаблоны доступа к памяти на GPU (разделяемой и глобальной).
10. Библиотека cuBLAS.
11. Библиотека cuFFT.
12. Библиотека cuRAND.
13. Библиотека cuSPARSE.
14. Технология OpenCL. Host API.
15. Технология OpenCL. Программирование на стороне GPU.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|--|
| зачтено | Студент ответил на большую часть вопросов возможно с незначительными недочетами. |
| не зачтено | При ответе студент допускает грубые ошибки в основном материале и решении стандартных задач. |

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-4

1. Выполнить реализацию алгоритма скалярного умножения векторов на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
2. Выполнить реализацию алгоритма умножения матрицы на вектор на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
3. Выполнить реализацию алгоритма умножения матриц (простого) на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
4. Выполнить реализацию алгоритма умножения матриц (блочного) на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
5. Выполнить реализацию алгоритма численного интегрирования методом прямоугольников на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
6. Выполнить реализацию алгоритма численного интегрирования методом трапеций на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
7. Выполнить реализацию алгоритма численного интегрирования методом Монте-Карло на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
8. Выполнить реализацию алгоритма Якоби для решения СЛАУ на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
9. Выполнить реализацию алгоритма Зейделя для решения СЛАУ на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.
10. Выполнить реализацию алгоритма верхней релаксации для решения СЛАУ на GPU с использованием технологии CUDA. Проверить корректность результатов.

Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Код и результаты работы представлены преподавателю в срок. |
| не зачтено | Выполнены не все лабораторные работы или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, код работает некорректно, результаты работы не представлены преподавателю). |

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Основы работы с технологией CUDA / Боресков А.В., Харламов А.А. - Москва : ДМК-пресс, 2010., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=636496&idb=0>.
2. Технология CUDA в примерах: введение в программирование графических процессоров / Сандерс Дж., Кэндрот Э. - Москва : ДМК-пресс, 2011., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=647163&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Малявко А. А. Параллельное программирование на основе технологий openmp, cuda, opencl, mpi : учебное пособие / А. А. Малявко. - 3-е изд. ; испр. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 135 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/492127> (дата обращения: 14.08.2022). - ISBN 978-5-534-14116-0 : 439.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=817156&idb=0>.
2. Многоядерные процессоры / Калачев А.В. - Москва : ИНТУИТ, 2016., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=662986&idb=0>.
3. Гергель Виктор Павлович. Теория и практика параллельных вычислений : учеб. пособие. - М. : Интернет-Университет Информационных Технологий : Бином. Лаб. знаний, 2007. - 423 с. : ил., табл. - (Основы информационных технологий). - ISBN 978-5-9556-0096-3 (ИНТУИТ.РУ) : 287.90., 7 экз.
4. Рыбальченко Михаил Викторович. Архитектура информационных систем : Учебное пособие для вузов / Рыбальченко М. В. - Москва : Юрайт, 2016. - 91 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-9916-9326-4 : 179.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=566682&idb=0>.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Программное обеспечение CUDA - <https://developer.nvidia.com/cuda-downloads>
2. Параллельные вычисления CUD - <http://www.nvidia.ru/object/cuda-parallel-computing-ru.html>
3. NVidia Corporation. Вводный обучающий курс по CUDA - http://www.nvidia.ru/object/cuda_state_university_courses_new_ru.html
4. NVidia Corporation. Базовый курс по CUDA и OpenACC - <http://www.nvidia.ru/object/cuda-openacc-online-course-ru.html>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Горшков Антон Валерьевич, кандидат технических наук.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.