

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт вычислительной математики и информационных технологий



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности КФУ

Проф. Таюрский Д.А.



\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

*подписано электронно-цифровой подписью*

### Программа дисциплины

Высокопроизводительные вычисления БЗ.ДВ.6

Направление подготовки: 010400.62 - Прикладная математика и информатика

Профиль подготовки: Численные методы

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Кадыров Р.Ф.

**Рецензент(ы):**

Задворнов О.А.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Задворнов О. А.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института вычислительной математики и информационных технологий:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No 937215

Казань  
2015

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) ассистент, к.н. Кадыров Р.Ф. кафедра вычислительной математики отделение прикладной математики и информатики, Rafael.Kadyrov@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью дисциплины является изучение основных архитектур многопроцессорных систем и принципов разработки прикладного программного обеспечения для них.

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.ДВ.6 Профессиональный" основной образовательной программы 010400.62 Прикладная математика и информатика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 6 семестр.

Данная дисциплина относится к общепрофессиональным дисциплинам.

Читается на 4 курсе в 7 семестре для студентов обучающихся по направлению "Прикладная математика и информатика".

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

| Шифр компетенции                       | Расшифровка приобретаемой компетенции   |
|--|---|
| ПК-8<br>(профессиональные компетенции) | способность разрабатывать наукоемкое программное обеспечение работы конкретного предприятия |
| ПК-9<br>(профессиональные компетенции) | способность и готовностью проводить научные эксперименты, оценивать результаты исследований |

В результате освоения дисциплины студент:

4. должен продемонстрировать способность и готовность:

В результате изучения курса "Программирование в среде много процессорных комплексов" студент приобретает следующие знания, навыки и умения:

1. знание архитектуры современных математических и графических сопроцессоров
2. способность самостоятельно понять и изучить архитектуру вновь появляющихся ускорителей
3. знание принципов разработки ПО для современных GPU
4. ориентироваться в стеке технологий CUDA для GPU nVidia
5. знать состав библиотеки CUDA для неграфических вычислений, уметь применять эти библиотеки при разработке ПО для GPU nVidia

### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 6 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);  
 55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);  
 54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю Тематический план дисциплины/модуля

| N  | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля   | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля              |
|----|---|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|--|
|    |   |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |  |
| 1. | Тема 1. Графический конвейер. Архитектура GPU-устройства.   | 6       |                    | 0   | 0                       | 6                      | устный опрос                           |
| 2. | Тема 2. Иерархия памяти GPU. Константная, глобальная, текстурная, разделяемая память.                                     | 6       |                    | 0   | 0                       | 6                      | устный опрос                           |
| 3. | Тема 3. Общие принципы построения программ для GPU. Модель программирования в общей памяти. SIMD (SIMT) модель программы. | 6       |                    | 0   | 0                       | 6                      | устный опрос                           |
| 4. | Тема 4. Программная модель CUDA.  | 6       |                    | 0   | 0                       | 6                      | коллоквиум                             |
| 5. | Тема 5. Некоторые алгоритмы обработки массивов. Параллельная редукция. Префиксная сумма.                                  | 6       |                    | 0   | 0                       | 6                      | контрольная работа<br>домашнее задание |
| 6. | Тема 6. Некоторые численные алгоритмы.  | 6       |                    | 0   | 0                       | 8                      | контрольная работа<br>домашнее задание |
| 7. | Тема 7. Прикладные математические библиотеки: CUBLAS, CUSPARSE, CUFFT, CURAND.  | 6       |                    | 0   | 0                       | 8                      | коллоквиум<br>домашнее задание         |

| N  | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля   | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля                    |
|----|---|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|--|
|    |   |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |  |
| 8. | Тема 8.<br>Высокоуровневые<br>технологии<br>разработки. Введение<br>в Thrust. Реализация<br>вычисления числа "пи"<br>составными<br>квадратурными<br>формулами при<br>помощи Thrust.<br>Сравнение<br>производительности. | 6       |                    | 0   | 0                       | 8                      | контрольная<br>работа<br>домашнее<br>задание |
|    | Тема . Итоговая<br>форма контроля   | 6       |                    | 0   | 0                       | 0                      | зачет  |
|    | Итого   |         |                    | 0   | 0                       | 54                     |  |

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Графический конвейер. Архитектура GPU-устройства.

#### *лабораторная работа (6 часа(ов)):*

Эволюция графических ускорителей. Появление и эволюция графического конвейера. Текстуры, шейдеры. Шейдерные процессоры. Общие черты внутреннего устройства графических ускорителей разных производителей.

### Тема 2. Иерархия памяти GPU. Константная, глобальная, текстурная, разделяемая память.

#### *лабораторная работа (6 часа(ов)):*

Виды памяти в GPU устройствах. Константная, глобальная, текстурная, разделяемая память. Расположение на графическом чипе, кеширование, ограничения доступа. Обмен данными между GPU и CPU. Общее виртуальное адресное пространство.

### Тема 3. Общие принципы построения программ для GPU. Модель программирования в общей памяти. SIMD (SIMT) модель программы.

#### *лабораторная работа (6 часа(ов)):*

Классификация Флинна. Место GPU в классификации Флинна. Отличия модели SIMT от классической SIMD-архитектуры.

### Тема 4. Программная модель CUDA.

#### *лабораторная работа (6 часа(ов)):*

Программная модель CUDA. Взаимодействие CPU->GPU->CPU. Взаимодействие CUDA и C/C++. Расширение языка C/C++. Встроенные типы данных, дополнительные языковые конструкции. CUDA-библиотека времени исполнения. Атомарные операции.

### Тема 5. Некоторые алгоритмы обработки массивов. Параллельная редукция.

#### Префиксная сумма.

#### *лабораторная работа (6 часа(ов)):*

Установка и настройка программного обеспечения CUDA под ОС семейств Windows и Linux. Расширение языка C/C++. Встроенные типы данных, дополнительные языковые конструкции. CUDA-библиотека времени исполнения. Атомарные операции. Компиляция CUDA-программ.

### Тема 6. Некоторые численные алгоритмы.

#### *лабораторная работа (8 часа(ов)):*

Программная реализация алгоритма параллельного суммирования элементов одномерного массива на GPU. Сравнение производительности CPU и GPU-реализаций.

### Тема 7. Прикладные математические библиотеки: CUBLAS, CUSPARSE, CUFFT, CURAND.

#### лабораторная работа (8 часа(ов)):

Программная реализация на GPU алгоритмов: - транспонирования матрицы - вычисления числа "пи" при помощи составных квадратурных формул - вычисления числа "пи" методом Монте-Карло.

### Тема 8. Высокоуровневые технологии разработки. Введение в Thrust. Реализация вычисления числа "пи" составными квадратурными формулами при помощи Thrust. Сравнение производительности.

#### лабораторная работа (8 часа(ов)):

Введение в шаблоны C++. Функтор, итератор. Их реализация на C++. ZIP-итератор. Общая идеология Thrust. Примеры использования. Взаимодействие Thrust и CUDA Plain C.

## 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

| N  | Раздел Дисциплины   | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|----|---|---------|-----------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1. | Тема 1. Графический конвейер. Архитектура GPU-устройства.   | 6       |                 | подготовка к устному опросу           | 6                      | устный опрос                          |
| 2. | Тема 2. Иерархия памяти GPU. Константная, глобальная, текстурная, разделяемая память.                                     | 6       |                 | подготовка к устному опросу           | 6                      | устный опрос                          |
| 3. | Тема 3. Общие принципы построения программ для GPU. Модель программирования в общей памяти. SIMD (SIMT) модель программы. | 6       |                 | подготовка к устному опросу           | 6                      | устный опрос                          |
| 4. | Тема 4. Программная модель CUDA.  | 6       |                 | подготовка к коллоквиуму              | 3                      | коллоквиум                            |
|    |   |         |                 | подготовка к устному опросу           | 3                      | устный опрос                          |
| 5. | Тема 5. Некоторые алгоритмы обработки массивов. Параллельная редукция. Префиксная сумма.                                  | 6       |                 | подготовка домашнего задания          | 4                      | домашнее задание                      |
|    |   |         |                 | подготовка к контрольной работе       | 2                      | контрольная работа                    |

| N     | Раздел Дисциплины  | Семестр | Неделя семестра | Виды самостоятельной работы студентов | Трудоемкость (в часах) | Формы контроля самостоятельной работы |
|-------|--|---------|-----------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 6.    | Тема 6. Некоторые численные алгоритмы.   | 6       |                 | подготовка домашнего задания          | 4                      | домашнее задание                      |
|       |  |         |                 | подготовка к контрольной работе       | 4                      | контрольная работа                    |
| 7.    | Тема 7. Прикладные математические библиотеки: CUBLAS, CUSPARSE, CUFFT, CURAND.   | 6       |                 | подготовка домашнего задания          | 2                      | домашнее задание                      |
|       |  |         |                 | подготовка к коллоквиуму              | 6                      | коллоквиум                            |
| 8.    | Тема 8. Высокоуровневые технологии разработки. Введение в Thrust. Реализация вычисления числа "пи" составными квадратурными формулами при помощи Thrust. Сравнение производительности. | 6       |                 | подготовка домашнего задания          | 2                      | домашнее задание                      |
|       |  |         |                 | подготовка к контрольной работе       | 3                      | контрольная работа                    |
|       |  |         |                 | подготовка к контрольной работе       | 3                      | контрольная точка                     |
| Итого |  |         |                 |                                       | 54                     |                                       |

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Обучение происходит в форме лекционных, лабораторных занятий, а также самостоятельной работы студентов.

Изучение курса подразумевает получение практических навыков для более глубокого понимания разделов дисциплины на основе решения задач и упражнений, иллюстрирующих доказываемые теоретические положения, а также развитие абстрактного мышления и способности самостоятельно доказывать частные утверждения.

Самостоятельная работа предполагает выполнение домашних работ. Практические задания, выполненные в аудитории, предназначены для указания общих методов решения задач определенного типа. Закрепить навыки можно лишь в результате самостоятельной работы.

Кроме того, самостоятельная работа включает подготовку к экзамену. При подготовке к сдаче экзамена весь объем работы рекомендуется распределять равномерно по дням, отведенным для подготовки к экзамену, контролировать каждый день выполнения работы. Лучше, если можно перевыполнить план. Тогда всегда будет резерв времени.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Графический конвейер. Архитектура GPU-устройства.

устный опрос , примерные вопросы:

Появление и эволюция графического конвейера. Текстуры, шейдеры. Шейдерные процессоры. Общие черты внутреннего устройства графических ускорителей разных производителей.

### Тема 2. Иерархия памяти GPU. Константная, глобальная, текстурная, разделяемая память.



устный опрос , примерные вопросы:

Константная, глобальная, текстурная, разделяемая память. Расположение на графическом чипе, кеширование, ограничения доступа. Обмен данными между GPU и CPU. Общее виртуальное адресное пространство.

### **Тема 3. Общие принципы построения программ для GPU. Модель программирования в общей памяти. SIMD (SIMT) модель программы.**

устный опрос , примерные вопросы:

Классификация Флинна. Место GPU в классификации Флинна. Отличия модели SIMT от классической SIMD-архитектуры.

### **Тема 4. Программная модель CUDA.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Программная модель CUDA. Взаимодействие CPU->GPU->CPU. Взаимодействие CUDA и C/C++.

устный опрос , примерные вопросы:

Расширение языка C/C++. Встроенные типы данных, дополнительные языковые конструкции. CUDA-библиотека времени исполнения. Атомарные операции. Компиляция CUDA-программ.

### **Тема 5. Некоторые алгоритмы обработки массивов. Параллельная редукция. Префиксная сумма.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Программная реализация алгоритма префиксного суммирование элементов одномерного массива на GPU.

контрольная работа , примерные вопросы:

- архитектура GPU nVidia - графический конвейер

### **Тема 6. Некоторые численные алгоритмы.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Вычисление числа "пи" методами квадратурных формул и Монте Карло.

контрольная работа , примерные вопросы:

- виды памяти GPU - программная модель CUDA

### **Тема 7. Прикладные математические библиотеки: CUBLAS, CUSPARSE, CUFFT, CURAND.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Сравнение точности метода Монте-Карло при использовании различных генераторов псевдослучайных последовательностей из библиотеки CURAND

коллоквиум , примерные вопросы:

Способы представления разреженных матриц в программе. Реализация основных матричных и матрично-векторных операций линейной алгебры при том или ином подходе к программному представлению матрицы.

### **Тема 8. Высокоуровневые технологии разработки. Введение в Thrust. Реализация вычисления числа "пи" составными квадратурными формулами при помощи Thrust.**

#### **Сравнение производительности.**

домашнее задание , примерные вопросы:

Реализация префиксного суммирования при помощи библиотеке Thrust. Сравнение вычислительной эффективности с низкоуровневой реализацией алгоритма.

контрольная работа , примерные вопросы:

- структура библиотеки CUBLAS - структура библиотеки CUSPARSE

контрольная точка , примерные вопросы:

- структура библиотеки CURAND - идеология формулировки алгоритмов при помощи библиотеки Thrust - функтор, итератор, zip-итератор

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к зачету:



### Список вопросов:

1. Эволюция GPU. Современный графический конвейер.
2. Архитектура графического ускорителя nVidia. Шейдер. Шейдерный процессор. Управление потоком инструкций и данных.
3. Виды памяти GPU. Константная, глобальная, текстурная, разделяемая память. Расположение на графическом чипе, кеширование, ограничения доступа.
4. Программная модель CUDA. Расширение языка C/C++. Встроенные типы данных, дополнительные языковые конструкции.
5. Программная модель CUDA. Расширение языка C/C++. CUDA-библиотека времени исполнения. Атомарные операции.
6. Предназначение и структура библиотек CUBLAS, CUSPARSE, CURAND.
7. Библиотека Thrust. Идеология. Детали реализации вычислительных алгоритмов с использованием Thrust. Функтор, итератор, zip-итератор.
8. Опишите структуру графического процессора G80.
9. Каковы основные вычислительные возможности нитевых ядер?
10. Опишите структуру потокового мультипроцессора.
11. Как должны быть организованы вычисления в процессоре G80?
12. В чем состоят принципы организации и функционирования массива взаимодействующих нитей?
13. В соответствии с техникой массива взаимодействующих нитей распишите один из известных вам алгоритмов численного интегрирования.

### 7.1. Основная литература:

1. Богачёв К.Ю. Основы параллельного программирования: учебное пособие. - 2-е (эл.). - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. - 342 с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=42626](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=42626)
2. Сизиков В.С Обратные прикладные задачи и MatLab. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 256с.  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2037](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2037)
3. Линев, А. В. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур: учебник для студентов высших учебных заведений/ А. В. Линев, Д. К. Боголепов, С. И. Бастраков; под ред. В. П. Гергеля; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. Москва: Изд-во Московского университета, 2010. 148 с.
4. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью: учебник для студентов высших учебных заведений/ К.В. Корняков, В.Д. Кустикова, И.Б. Мееров [и др.]; под ред. проф. В.П. Гергеля; Нижегород. гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, Координац. совет Системы науч.-образоват. центров суперкомпьютер. технологий. 2-е изд., испр. и доп.. Москва: Изд-во Московского университета, 2010. 262 с.
5. Кепнер, Джереми. Параллельное программирование в среде MATLAB для многоядерных и многоузловых вычислительных машин: [учебное пособие] / Джереми Кепнер; науч. ред. Д. В. Дубров. Москва: Изд-во Московского университета, 2013. 292, [2] с.

### 7.2. Дополнительная литература:

1. Афанасьев К. Е, Стуколов С. В. Многопроцессорные вычислительные системы и параллельное программирование: учеб. пособие: учеб.-метод. Пособие / Афанасьев К. Е, Стуколов С. В - Кемерово Кузбассвузиздат- 2003- 233с. -ISBN: 5-8353-0155-3
2. Инструменты параллельного программирования в системах с общей памятью: учебник для студентов высших учебных заведений/ К.В. Корняков, В.Д. Кустикова, И.Б. Мееров [и др.]; под ред. проф. В.П. Гергеля; Нижегород. гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского, Координац. совет Системы науч.-образоват. центров суперкомпьютер. технологий. 2-е изд., испр. и доп.. Москва: Изд-во Московского университета, 2010. 262 с.

3. Сырецкий, Г. А. Информатика. Фундаментальный курс. Том II. Информационные технологии и системы /Г. А. Сырецкий. ? СПб.: БХВ-Петербург, 2007. ? 846 с.  
<http://znanium.com/bookread.php?book=350042>

### 7.3. Интернет-ресурсы:

Интернет-портал образовательных ресурсов по ИТ - <http://algotlist.manual.ru/>

Интернет-портал образовательных ресурсов по ИТ - <http://www.intuit.ru>

Информационно-аналитический центр по параллельным вычислениям - <http://parallel.ru>

Основы работы с технологией CUDA - <http://www.znanium.com>

Параллельные алгоритмы: учебное пособие для студентов и аспирантов университетов и вузов, изучающих вычислительную математику и ее приложения, а также для специалистов по численному анализу - [http://z3950.ksu.ru/bcover/0000730145\\_con.pdf](http://z3950.ksu.ru/bcover/0000730145_con.pdf)

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Высокопроизводительные вычисления" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной доской и мелом (маркером). Желательно наличие мультимедийного проектора.

Практические занятия проводятся в компьютерных классах, оснащенных доской и мелом (маркером). ЭВМ должны быть оснащены видеоадаптерами nVidia с поддержкой технологии CUDA.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 010400.62 "Прикладная математика и информатика" и профилю подготовки Численные методы .

Автор(ы):

Кадыров Р.Ф. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Задворнов О.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.