

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной деятельности КФУ  
Проф. Д.К. Нурғалиев



« 23 » сентября 2014 г.

**Программа дисциплины**

Б1.В.ОД.5 Введение в высокопроизводительные вычисления

Направление подготовки: 01.06.01 Математика и механика

Направленность (профиль) подготовки: 01.01.03 Математическая физика

Квалификация выпускника «Исследователь. Преподаватель-исследователь»

Форма обучения: очная

Язык обучения: русский

Казань

2014

## **Аннотация**

### **1. Цели освоения дисциплины**

В рамках курса "Введение в высокопроизводительные вычисления" предлагается изучение аппаратной и программной частей многопроцессорных и многомашинных вычислительных систем, их классификация. Изучение общих подходов к построению параллельных алгоритмов и программных комплексов.

### **2. Место дисциплины в структуре программы аспирантуры**

Данная дисциплина относится к общепрофессиональным дисциплинам. Читается на 2 курсе в 4 семестре для аспирантов обучающихся по направлению «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

### **3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) в соответствии с ФГОС ВО программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре**

Знать: принципы построения и функционирования аппаратно-программных комплексов, предназначенных для проведения параллельных вычислений; различия основных архитектур многопроцессорных вычислительных систем; анализ производительности параллельных алгоритмов на различных классах архитектур; паттерны проектирования параллельных алгоритмов и программных систем.

Уметь: ориентироваться в аппаратном и программном обеспечении параллельных систем; применять основные концепции проектирования программных комплексов, предназначенных для работы на различных типах многопроцессорных вычислительных систем.

Владеть: теоретическими знаниями в построении и программировании параллельных систем; практическими навыками в применении основных паттернов проектирования параллельных программных систем

Демонстрировать способность и готовность: применять полученные знания на практике

В результате освоения дисциплины формируются компетенции:

Общепрофессиональные: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

### **4. Структура и содержание дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 часа (лекции 12 ч., практика 6 ч., самостоятельная работа 54 ч.).

№	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)	Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
1	Классификация параллельных архитектур	4	1-2	Лекции: 1 час; Самостоятельная работа: 4 часа	
2	Параллелизм и его использование	4	2-3	Лекции: 1 час; Самостоятельная работа: 4 часа	устный опрос
3	Технология программирования OpenMP	4	4-7	Лекции: 2 часа; Практика 2 часа; Самостоятельная работа: 6 часов	домашнее задание; контрольная работа
4	Технология программирования MPI	4	8-9	Лекции: 2 часа; Практика 2 часа; Самостоятельная работа: 6 часов	домашнее задание; контрольная работа
5	Гибридная модель параллельного программирования	4	9,10	Лекции: 2 часа; Самостоятельная работа: 10 часов	домашнее задание;
6	Параллельная реализация некоторых частных методов	4	11,12	Лекции: 2 часа; Практика 2 часа; Самостоятельная работа: 10 часов	Домашнее задание;
7	Явная схема Эйлера. Метод декомпозиции области.	4	13-15	Лекции: 2 часа; Самостоятельная работа: 14 часов	Домашнее задание; отчет.

### 5. Образовательные технологии

Обучение происходит в форме лекционных и практических занятий, а также самостоятельной работы аспирантов.

Изучение курса подразумевает получение практических навыков для более глубокого понимания разделов дисциплины на основе решения задач и упражнений, иллюстрирующих изучаемые технологии, а также развитие критического мышления и

способности самостоятельно применять полученные знания для решения практических задач.

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 аспирантов**

### **ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО КУРСУ**

#### **Тема 1. Классификация параллельных архитектур.**

Классификация Флинна, однопроцессорные системы, системы с векторными процессорами, мультипроцессорные системы с памятью общего использования, UMA SMP, когерентность кешей, UMA с коомутируемой сетью межсоединений, NUMA, COMA.

Классификация машин параллельной обработки информации в модели общей памяти, подразумевающая разное отношение к построению вычислительных алгоритмов для них. Многомашинные системы с передачей сообщений, массивно-параллельные системы, кластеры и сети рабочих станций, ПО для управления многомашинными системами. PVM, MPI, Linda, Orca.

Вопросы организации различного рода сетей, объединяющих машины с общей памятью в одну вычислительную систему. Принципы организации вычислений на таких системах, обзор программного обеспечения и языков программирования, предназначенных для разработки ПО в таких средах.

#### **Тема 2. Параллелизм и его использование.**

Графы информационных зависимостей. Концепция неограниченного параллелизма. Крупноблочное распараллеливание. Низкоуровневое распараллеливание. Оценка эффективности параллельных вычислений.

Разбор типовых примеров параллельных алгоритмов для решения задач линейной алгебры.

#### **Тема 3. Технология программирования OpenMP.**

Основные конструкции, работа с переменными, распараллеливание циклов, параллельные секции, критические секции, атомарные операции, операции синхронизации.

Решение задач по созданию параллельных программ с помощью технологии OpenMP.

Разбор особенностей этой технологии.

#### **Тема 4. Технология программирования MPI.**

Общие функции, функции приема/передачи сообщений между процессами. Функции коллективного взаимодействия процессов, создания пользовательских операций, работа с группами процессов. Пересылка разнотипных данных, производные типы данных, упаковка данных. Решение задач по созданию параллельных программ с помощью технологии MPI. Разбор особенностей этой технологии.

### **Тема 5. Гибридная модель параллельного программирования.**

Совместное использование технологий программирования MPI, OpenMP.

Решение задач с привлечением обеих технологий - MPI и OpenMP. Разбор особенностей совместного использования.

### **Тема 6. Примеры параллельных численных методов.**

Умножение матрицы на вектор. Произведение матриц (алгоритм Штрассена). Параллельная реализация волнового алгоритма. Быстрое преобразование Фурье. Решение системы линейных уравнений с трехдиагональной матрицей - метод редукции. Анализ вычислительной сложности алгоритмов, анализ накладных расходов на синхронизацию параллельных подзадач.

Формулировка ряда численных методов, допускающих параллельное исполнение. Умножение матрицы на вектор. Произведение матриц напрямую, формулировка и обсуждение вариантов параллельной реализации алгоритма Штрассена. Параллельная реализация волнового алгоритма поиска кратчайшего пути в графе для случая неориентированного планарного графа, топологически эквивалентного шахматной доске. Параллельная реализация быстрого преобразования Фурье. Решение системы линейных уравнений с трехдиагональной матрицей - метод редукции. Анализ вычислительной сложности алгоритмов, анализ накладных расходов на синхронизацию параллельных подзадач.

### **Тема 7. Метод декомпозиции области Шварца с налегающими подобластями.**

Формулировка нестационарного уравнения теплопроводности с конвекцией в двумерной области. Дискретизация по времени, приводящая к явной схеме Эйлера. Дискретизация пространственного оператора конечными разностями. Обсуждение вариантов параллельной программной реализации полученной вычислительной схемы.

Метод декомпозиции области Шварца с налегающими подобластями для стационарного уравнения теплопроводности как пример крупнозернистого распараллеливания на уровне алгоритма.

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ (СРА) включает следующие виды работ:

#### **Темы 1-2.**

Реферат. Варианты тем:

- 1) Описание какой-либо существующей параллельной архитектуры
- 2) Языки программирования, позволяющие создавать параллельные программы на уровне ядра языка или его стандартной библиотеки
- 3) Вычисления на графических процессорах и специализированных со-процессорах.

#### **Тема 3.**

Параллельная реализация численного интегрирования с использованием составных квадратных формул с использованием OpenMP.

Параллельная реализация волнового алгоритма поиска кратчайшего пути в графе.

#### **Темы 4-5.**

Параллельная реализация численного интегрирования с использованием составных квадратных формул с совместным использованием технологий MPI и OpenMP.

## **Тема 6.**

Реализация reduce-алгоритма для скалярного произведения векторов.

Конвейерная реализация алгоритма, вычисляющего выражение  $(A[i]*B[i]+C[i])/D[i]$

Исследование устойчивости алгоритма Штрассена.

## **Тема 7.**

Программная реализация явной схемы Эйлера для решения двумерной нестационарной задачи Пуассона.

Программная реализация метода декомпозиции области с перекрытием для стационарной двумерной задачу Пуассона.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)**

Основная литература:

1. Линев, Алексей Владимирович. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур: учебник для студентов высших учебных заведений/ А. В. Линев, Д. К. Боголепов, С. И. Бахраков; под ред. В. П. Гергеля; Нижегород. гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского. Москва: Изд-во Московского университета, 2010. ?148 с.

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.

4. 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)

дополнительная литература:

1. Ефимов, С. С. Параллельное программирование: учебное пособие / С. С. Ефимов; Федер. агентство по образованию, ОмГУ, Фак. компьютер. наук. ?Омск: [УниПак], 2009. 397 с

2. Масловская Л. В.. Параллельные алгоритмы: учебное пособие для студентов и аспирантов университетов и вузов, изучающих вычислительную математику и ее приложения, а также для специалистов по численному анализу / Л. В. Масловская, О. М. Масловская. Одесса: Фенікс, 2009. 109 с.:

3. Столов Е. Л. Введение в цифровую обработку изображений и параллельные вычисления: [учеб. пособие] / Е. Л. Столов; Казан. гос. ун-т. Казань: [КГУ], 2006. 67, [1] с.: ил.; 20. Библиогр.: с. 68 (3 назв.).

4. Кандаурова, Н. В. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. (Курс лекций и лабораторный практикум) [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Н. В. Кандаурова, С. В. Яковлев, В. П. Яковлев и др. - 2-е изд., стер. - М.: ФЛИНТА, 2013. - 344 с. <http://znanium.com/bookread.php?book=466100>

5. 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>

## **8. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

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

2. Основы работы с технологией CUDA - <http://www.znaniium.com>
3. 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)
3. Справочник по компьютерной математике - <http://www.users.kaluga.ru/math/>

### **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

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.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО аспирантуры (Приказ Минобрнауки РФ от 30.07.2014 № 866)

Автор(ы): Кадыров Р.Ф.

Рецензенты: Павлова М.Ф.

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии Института математики и механики КФУ от 29 августа 2014 года, протокол № 7.