

п.5 -
п.9

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»

Факультет компьютерных наук и информационных технологий



УТВЕРЖДАЮ

01

2017 г.

Рабочая программа дисциплины
Параллельное программирование

Направление подготовки специалитета
10.05.01 – Компьютерная безопасность

Профиль подготовки специалитета
Математические методы защиты информации

Квалификация выпускника
Специалист по защите информации

Форма обучения
Очная

Саратов,
2017

1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Параллельное программирование» является изучение принципов построения параллельных вычислительных систем, основ теории параллельных вычислений, принципов параллельного и распределенного программирования, а также методов, способов и средств разработки программ для многопроцессорных вычислительных систем в рамках параллельного и распределенного программирования.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Данная учебная дисциплина относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины (Модули)» ООП, является дисциплиной по выбору и направлена на формирование у обучающихся общепрофессиональных и профессиональных компетенций.

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, знания, умения и готовности, сформированные у обучающихся в результате освоения курсов «Информатика и программирование», «Математическая логика и теория алгоритмов», «Языки программирования», «Методы программирования», «Дискретная математика», «Теория автоматов», «Операционные системы», «Компьютерные сети».

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины студент должен обладать следующими общепрофессиональными и профессиональными компетенциями:

- способностью использовать языки и системы программирования, инструментальные средства для решения профессиональных, исследовательских и прикладных задач (ОПК-8);

- способностью организовывать работу малых коллективов исполнителей, находить и принимать управленческие решения в сфере профессиональной деятельности (ПК-13).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- принципы построения параллельных вычислительных систем;
- модели вычислений и методы повышения эффективности параллельных алгоритмов;

- модели функционирования параллельных программ;

- принципы распараллеливания вычислений на основе многопоточности для высокопроизводительных симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью, и в частности, стандарт OpenMP;

- принципы разработки параллельных программ для высокопроизводительных кластерных систем с распределенной памятью на основе передачи сообщений, и в частности, стандарт MPI;

Уметь:

- выполнять анализ моделей вычислений с целью разработки эффективных версий параллельных алгоритмов;
- разрабатывать параллельные алгоритмы и программы (в частности, для решения типовых задач вычислительной математики) для высокопроизводительных вычислительных систем на основе технологий OpenMP и MPI;
- использовать при этом параллельные версии стандартных библиотек поддержки высокопроизводительных вычислений;

Владеть

- навыками разработки эффективных версий параллельных алгоритмов;
- современными средствами разработки программного обеспечения, поддерживающими технологию распараллеливания вычислений OpenMP;
- технологией распараллеливания вычислений MPI;
- навыками их эффективного применения для решения научно-технических и прикладных задач.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	лабораторные	практические	сам. работа	
1.	Принципы построения параллельных вычислительных систем.	10	1–2	3	–	–	3	Тест № 1 Контрольная работа
2.	Функционирование параллельных программ и их модели	10	2-3	3	3	–	6	Тест № 1 Контрольная работа
3.	Распараллеливание на основе многопоточности для симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью. C++ и технология OpenMP	10	4-8	9	12	–	15	Тест № 1 Контрольная работа

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Формы промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	лабораторные	практические	сам. работа	
4.	Разработка параллельных программ для высокопроизводительных кластерных систем с распределенной памятью на основе передачи сообщений. С++ и технология MPI.	10	8-15	14	14	–	17	Тест № 1 Контрольная работа
5.	Библиотеки поддержки высокопроизводительных вычислений, существенно использующие технологии OpenMP и MPI	10	15–16	3	3	–	3	Тест № 1 Контрольная работа
Промежуточная аттестация								Экзамен
ИТОГО				32	32	–	44	36

Раздел 1. «Принципы построения параллельных вычислительных систем». Классификация параллельных вычислительных систем. Мультипроцессоры и параллельные вычислительные системы с общей памятью. Симметричные мультипроцессорные системы с общей памятью. Мультикомпьютеры и параллельные вычислительные системы с распределенной памятью. Кластерные системы.

Раздел 2. «Функционирование параллельных программ и их модели». Показатели эффективности параллельных вычислений: ускорение, эффективность, масштабируемость. Закон Амдала. Модель алгоритма в форме графа. Параллельная форма графа алгоритма: ярусы, высота, ширина и оценка наименьших затрат времени. Концепция неограниченного параллелизма и ее недостатки. Анализ возможности распараллеливания с точки зрения макроопераций. Организация параллелизма на основе разделения данных. Проблема балансировки нагрузки при ограниченном числе процессоров. Представление параллельной программы как системы параллельно выполняемых процессов или потоков. Синхронизация. Обеспечение взаимного исключения при использовании разделяемых ресурсов.

Блокировки. Семафоры и мониторы. Критические секции. Барьерная синхронизация. Графовая модель «процесс-ресурс» параллельных программ и теорема об отсутствии циклов.

Раздел 3. «Распараллеливание на основе многопоточности для симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью. C++ и технология OpenMP». Многопоточность современных операционных систем как основа для разработки параллельных программ для симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью. Стандарт OpenMP и директивы компилятора C/C++. Переменные окружения. Модель параллельной программы OpenMP и ее выполнение. Параллельные и последовательные области: директива `parallel`, переменные среды и вспомогательные функции, директива `single`, директива `master`. Модель данных OpenMP. Распределение работы между потоками. Низкоуровневое распараллеливание. Параллельные циклы. Параллельные секции. Неитеративный параллелизм и директива `sections`. Распараллеливание в стиле «портфель задач» и директива `tasks`. Синхронизация. Барьеры. Директива `ordered`. Критические секции. Директива `atomic`. Блокировки. Директива `flush`. Дополнительные переменные среды и функции OpenMP.

Раздел 4. «Разработка параллельных программ для высокопроизводительных кластерных систем с распределенной памятью на основе передачи сообщений. C++ и технология MPI». MPMD-модель вычислений и параллельное программирование на основе передачи сообщений. Способы запуска приложений MPI (реализации `MPICH2` и `OpenMPI`). Парные межпроцессные обмены. Операции блокирующей передачи и блокирующего приема: блокирующая передача, данные в сообщении, атрибуты сообщения, блокирующий прием, возвращаемая статусная информация. Соответствие типов данных и преобразование данных: правила соответствия типов данных, преобразование данных. Коммуникационные режимы. Семантика парного обмена между процессами. Распределение и использование буферов. Неблокирующий обмен: коммуникационные объекты, инициация и завершение обмена, семантика неблокирующих коммуникаций, множественные завершения. Проба и отмена сообщений. Совмещенные прием и передача сообщений. Производные типы данных: конструкторы типа данных, адресные функции и функции экстенгов, маркеры верхней и нижней границ, объявление и удаление объектов типа данных, использование универсальных типов данных. Коллективные взаимодействия процессов: барьерная синхронизация, широковещательный обмен, сбор данных, рассылка, сбор для всех процессов, общие по всем процессам рассылка и сбор данных. Глобальные операции редукции: функция `Reduce`, предопределенные операции редукции (вычисление сумм, произведений, логические операции и т.д.), нахождение глобального минимума/максимума и его индекса, функции `All-Reduce`, `Reduce-Scatter`, `Scan`. Группы процессов и коммутаторы, базовые концепции. Управление группой: средства доступа в группу, конструкторы и деструкторы групп. Управление коммутаторами:

доступ к коммутаторам, конструкторы и деструкторы коммутаторов. Виртуальная топология и топологические конструкторы. Конструктор декартовой топологии и распределение процессоров по размерностям декартовой топологии. Конструктор топологии в форме графа. Топологические функции запроса. Сдвиг в декартовых координатах. Декомпозиция декартовых структур.

Раздел 5. «Библиотеки поддержки высокопроизводительных вычислений, существенно использующие технологии OpenMP и MPI». Реализация многопоточных версий блочных алгоритмов решения базовых задач линейной алгебры с плотно заполненными матрицами в наиболее распространенных вариантах библиотек BLAS/LAPACK (ATLAS BLAS/LAPACK, GotoBLAS2/LAPACK, Intel MKL, AMD ACML). Многопоточные версии алгоритмов дискретного преобразования Фурье (FFTW3, Intel MKL, ACML). Кластерное расширение пакетов BLAS/LAPACK: пакеты BLACS и SCALAPACK. Пакет анализа графов METIS и его параллельная версия PARMETIS.

Лабораторные работы: компиляция, сборка и тестирование параллельных версий свободно распространяемых пакетов ATLAS BLAS/LAPACK, GotoBLAS2/LAPACK, FFTW3, BLACS, SCALAPACK, METIS и PARMETIS.

План лабораторных занятий

На лабораторных занятиях студенты выполняют задания по разделам настоящего курса с использованием электронного учебного пособия, web-адрес которого приведен в 1-м источнике из списка основной литературы.

№ занятия	Тема	Задания для лабораторного практикума
1	2	3
1–2	Функционирование параллельных программ и их модели	1-4
2-8	Распараллеливание на основе многопоточности для симметричных мультипроцессорных систем с общей памятью. C++ и технология OpenMP	5-18
8-15	Разработка параллельных программ для высокопроизводительных кластерных систем с распределенной памятью на основе передачи сообщений. C++ и технология MPI.	19-42
15–16	Библиотеки поддержки высокопроизводительных вычислений, существенно использующие технологии OpenMP и MPI.	43-46

Задания для выполнения лабораторных работ приведены в ФОС по дисциплине.

5. Образовательные технологии

При проведении занятий планируется использование таких активных и

интерактивных форм занятий, как перекрестный опрос, мультимедийные презентации, обсуждение результатов выполнения лабораторных работ. Предполагается активное использование постоянно обновляемых образовательных ресурсов веб-сайта Лаборатории параллельных информационных технологий НИВЦ МГУ им. М.В. Ломоносова: www.parallel.ru.

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов используются подходы, способствующие созданию безбарьерной образовательной среды: технологии дифференциации и индивидуализации обучения, сопровождение тьюторами в образовательном пространстве; увеличивается время на самостоятельное освоение материала. Используется сочетание разных форм и способов передачи учебной информации: вербальный, невербальный, с использованием средств визуализации информации (презентации) и разных способов отчетности (письменно, устно, с использованием электронных дистанционных технологий).

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

Самостоятельная работа студентов заключается в изучении дополнительной литературы, подготовке к тестовым заданиям.

Самостоятельная работа организуется с помощью лекционного и раздаточного материала.

Соответствие разделов курса и используемой при выполнении самостоятельной работы литературы (из списка основной, дополнительной литературы и интернет-источников) приведено в таблице ниже.

Номер раздела курса, по которому выполняется самостоятельная работа	Используемые источники из списка основной и дополнительной литературы
1	7-11
2	1, 2, 6, 17
3	1, 4, 5, 12
4	1, 2, 13, 14
5	14-17

Задания для самостоятельной работы

Задания для выполнения самостоятельной работы приведены в ФОС по дисциплине.

Фонд оценочных средств дисциплины включает в себя задания для выполнения лабораторных работ, задания для выполнения самостоятельной работы, задания для выполнения контрольной работы, контрольные вопросы, вопросы для проведения промежуточной аттестации (экзамен), тестовые задания.

Задания для контрольной работы

Задания для контрольной работы приведены в ФОС по дисциплине.

Вопросы для проведения промежуточной аттестации (экзамен)

Вопросы для проведения экзамена приведены в ФОС по дисциплине.

Тестовые задания

Тестовые задания приведены в ФОС по дисциплине.

7. Данные для учета успеваемости студентов в БАРС

Таблица 1 – Таблица максимальных баллов по видам учебной деятельности.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Семестр	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Самостоятельная работа	Автоматизированное тестирование	Другие виды учебной деятельности	Промежуточная аттестация	Итого
10	10	25	0	15	5	15	30	100

Программа оценивания учебной деятельности студента

10 семестр

Лекции

Посещаемость, опрос, активность и др. за один семестр – от 0 до 10 баллов.

Лабораторные занятия

Контроль выполнения лабораторных заданий в течение одного семестра – от 0 до 25 баллов.

Практические занятия

Не предусмотрены.

Самостоятельная работа

Выполнение домашних работ в течении семестра – от 0 до 15.

Автоматизированное тестирование

Максимально можно набрать 5 баллов.

Автоматизированное тестирование осуществляется системой автоматически и баллы заносятся автоматически в соответствующую колонку таблицы после прохождения студентом теста on-line.

Другие виды учебной деятельности

Выполнение факультативных заданий, изучение факультативного материала по дополнительным главам дисциплины, успешное выступление на лекционном или лабораторном занятии с презентацией и докладом по теме, одобренной преподавателем, своевременность выполнения текущих и дополнительных заданий – от 0 до 15 баллов.

Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация представляет собой собеседование, проводимое в устной форме с предварительной подготовкой студента к ответу.

При проведении промежуточной аттестации

ответ на «отлично» оценивается от 21 до 30 баллов;

ответ на «хорошо» оценивается от 11 до 20 баллов;
ответ на «удовлетворительно» оценивается от 6 до 10 баллов;
ответ на «неудовлетворительно» оценивается от 0 до 5 баллов.

Таким образом, максимально возможная сумма баллов за все виды учебной деятельности студента за 10 семестр по дисциплине «Параллельное программирование» составляет 100 баллов.

Таблица 2.1 – Таблица пересчета полученной студентом суммы баллов по дисциплине «Параллельное программирование» в оценку (экзамен):

80–100 баллов	«отлично»
64–79 баллов	«хорошо»
51–63 баллов	«удовлетворительно»
0–50 баллов	«неудовлетворительно»

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Андрейченко Д.К., Велиев В.М., Ерофтиев А.А., Портенко М.С. Теоретические основы параллельного программирования. Учебное пособие. – Саратов: Саратовский госуниверситет им. Н.Г. Чернышевского. – 2015. – 282 с. – http://library.sgu.ru/uch_lit/1255.pdf.

б) дополнительная литература:

2. Гергель В. П. Теория и практика параллельных вычислений – М. : Интернет-Ун-т Информ. Технологий : БИНОМ. Лаб. знаний, 2010, 2007. – 423 с.
4. Богачев К.Ю. Основы параллельного программирования. – М.: БИНОМ. Лаб. знаний, 2010. – 342 с.
5. Лацис О.А. Параллельная обработка данных. – М.: Изд. Центр «Академия», 2010. – 334 с.
6. Воеводин В.В., Воеводин В.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 599 с.

в) Интернет-ресурсы

7. Ведущие российские производители высокопроизводительных компьютеров. – 2016. – http://www.parallel.ru/computers/rus_vendors.html
8. Ведущие производители высокопроизводительных компьютеров. – 2016. – <http://www.parallel.ru/computers/vendors.html>
9. TOP 500. Список 500 самых мощных компьютеров в мире. <http://www.top500.org>
10. Документация по системным вызовам Linux. – 2016. – <http://www.linuxdoc.ru/sys-doc.html>.
11. Windows Desktop App Development. – 2016. – [http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ee663300\(v=vs.85\).aspx](http://msdn.microsoft.com/en-us/library/windows/desktop/ee663300(v=vs.85).aspx)
12. OpenMP Application Program Interface. Version 4.5 November 2015. [Электронный ресурс]/ Электрон. дан. 2015. Режим доступа: <http://www.openmp.org/wp-content/uploads/openmp-4.5.pdf>, свободный. Загл. с экрана.

13. MPI: A Message-Parsing Interface Standard 3.1. June 4, 2015. [Электронный ресурс]/ Message Passing Interface Forum. Электрон. дан. 2016. Режим доступа: <http://www.mpi-forum.org/docs/mpi-3.1/mpi31-report.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
14. MPICH User's Guide. Version 3.2. [Электронный ресурс]/ Mathematics and Computer Science Division Argonne National Laboratory. Электрон. дан. 2016. Режим доступа: <http://www.mpich.org/static/downloads/3.2/mpich-3.2-userguide.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
15. Intel Math Kernel Library Developer Reference. [Электронный ресурс]/ Электрон. дан. 2017. . Режим доступа: https://software.intel.com/sites/default/files/managed/ff/c8/mkl-2017-developer-reference-c_0.pdf свободный. Загл. с экрана.
16. Frigo M., Johnson S.G. FFTW for version 3.3.5. [Электронный ресурс]/ Электрон. дан. 2016. Режим доступа: <http://www.fftw.org/fftw3.pdf>, свободный. Загл. с экрана.
17. Веб-сайт Интернет-портал Лаборатории Параллельных информационных технологий Научно-исследовательского вычислительного центра Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова www.parallel.ru.

г) программное обеспечение

1. Лицензионное программное обеспечение: Intel Cluster Studio для ОС Linux (версия 2013 и выше); ОС Microsoft Windows (версия 7 x64 и выше); компилятор Microsoft Visual C++ (версия 2010 Professional и выше)
2. Свободное программное обеспечение: ОС Linux x86_64, компилятор GNU C++ (версия 4.8.x и выше).

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для проведения лекционных занятий необходима мультимедийная лекционная аудитория с проектором.

Для проведения лабораторных занятий необходим компьютерный класс факультета КНИИТ, оснащенный мультимедийным оборудованием с постоянным доступом в интернет и выходом на кластер высокопроизводительных вычислений факультета КНИИТ. Сведения о кластере приведены в таблице ниже.

№ п.п.	CPU	RAM	Ускорители	Кол-во
1	1x Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2603 v2 @ 1.80GHz (4-core)	16 GB	—	1
2	2x Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2640	128 GB	—	1

№ п.п.	CPU	RAM	Ускорители	Кол-во
	v2 @ 2.00GHz (8-core, HT)			
3	2x Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2603 v2 @ 1.80GHz (4-core)	32 GB	3x Intel Xeon Phi 5100P (60-core, HT-4)	2
4	2x Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2603 v2 @ 1.80GHz (4-core)	16 GB	2x NVIDIA Tesla K20m	1

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по специальности 10.05.01 Компьютерная безопасность и специализации «Математические методы защиты информации» (квалификация «Специалист по защите информации»).

Автор

Профессор кафедры математического обеспечения вычислительных комплексов и информационных систем, д.ф.-м.н., профессор



Д.К. Андрейченко

Программа разработана в 2012 г. (одобрена на заседании кафедры математического обеспечения вычислительных комплексов и информационных систем от «30» августа 2012 года, протокол № 1).

Программа актуализирована в 2017 г. (одобрена на заседании кафедры математического обеспечения вычислительных комплексов и информационных систем от «10» января 2017 года, протокол № 7).

Заведующий кафедрой математического обеспечения вычислительных комплексов и информационных систем, д.ф.-м.н., профессор



Д.К. Андрейченко

Декан факультета компьютерных наук и информационных технологий, к.ф.-м.н., доцент



А.Г. Федорова