

Проект комиссии Президента
по модернизации и технологическому развитию экономики России
«Создание системы подготовки высококвалифицированных кадров
в области суперкомпьютерных технологий и
специализированного программного обеспечения»

УТВЕРЖДАЮ
Председатель экспертного совета
системы НОЦ СКТ, член-корр. РАН
В.В. Воеводин

_____ 201__ г.

Программа дисциплины
«ПРАКТИКУМ ПО МРІ И OPENMP»

**«010300 -- Фундаментальная информатика
и информационные технологии»**

Разработчик: с.н.с., к.ф.-м.н. Антонов А.С.
Рецензент: профессор Крюков В.А.

Москва

Учебно-методический план курса

«ПРАКТИКУМ ПО MPI И OPENMP» АНТОНОВ А.С.

1. Аннотация курса

Данный курс является специальным курсом для студентов 4-5 года, проходящих программу 6-летнего обучения на факультете ВМК МГУ. Длительность курса 32 часа. В конце семестра сдается зачет. Отвечает за курс кафедра АСВК факультета ВМК МГУ. Автор программы и лектор – с.н.с., к.ф.-м.н. Антонов Александр Сергеевич. При чтении лекций могут использоваться компьютерные презентации. Перед допуском к зачету студенты должны успешно выполнить ряд практических заданий.

2. Место дисциплины в учебном плане

В результате изучения дисциплины студент должен:
знать базовые принципы параллельной обработки данных, базовые принципы работы в ОС Unix, особенности современных технологий параллельного программирования MPI и OpenMP;
уметь работать в среде высокопроизводительной вычислительной системы, создавать параллельные программы с использованием технологий MPI и OpenMP, проводить отладку параллельных программ, написанных с использованием технологий MPI и OpenMP, проводить оптимизацию параллельных программ, написанных с использованием технологий MPI и OpenMP.;
владеть основами технологий параллельного программирования.

3. Содержание дисциплины

Перечень разделов курса (в том числе перечень тем семинарских занятий, при наличии описание практикума, коллоквиума).

Раздел I. Введение.

Тема 1. Коротко об операционной системе UNIX.

Тема 2. Краткие сведения о целевой высокопроизводительной вычислительной системе.

Тема 3. Параллелизм и его использование.

Раздел II. Технология программирования MPI.

Тема 4. Основные понятия MPI.

Тема 5. Общие процедуры MPI.

Тема 6. Передача/приём сообщений между отдельными процессами.

Тема 7. Коллективные взаимодействия процессов.

Тема 8. Группы и коммунитаторы.

Тема 9. Виртуальные топологии.

Тема 10. Пересылка разнотипных данных.

Раздел III. Технология программирования OpenMP.

Тема 11. Основные понятия OpenMP.

Тема 12. Параллельные и последовательные области.

Тема 13. Модель данных.

Тема 14. Распределение работы.

Тема 15. Синхронизация.

Тема 16. Дополнительные переменные среды и функции.

Тематика практических занятий:

1. Знакомство с программно-аппаратной средой целевой высокопроизводительной вычислительной системы.
2. Распараллеливание с использованием технологии MPI.
3. Распараллеливание с использованием технологии OpenMP.

4. Перечень разделов курса

Раздел I. Введение.

Тема 1. Коротко об операционной системе UNIX.

Многозадачная, многопользовательская система UNIX. Linux как один из наиболее известных свободно распространяемых диалектов UNIX. Объекты в UNIX: файлы и процессы. Командный интерпретатор. Вход в систему. Просмотр справки о командах. Пользователи и группы.

Файловая система. Атрибуты файлов. Операции с файлами и каталогами.

Процессы. Атрибуты процессов. Сигналы.

Потоки ввода-вывода. Конвейер команд. Фоновый режим.

Пользовательское окружение. Удалённый доступ. Пересылка файлов. Файловый менеджер. Редакторы. Компиляторы.

Тема 2. Краткие сведения о целевой высокопроизводительной вычислительной системе.

Архитектура целевой высокопроизводительной вычислительной системы. Доступные пользователю вычислительные ресурсы.

Доступ на целевую высокопроизводительную вычислительную систему.

Особенности программного обеспечения целевой высокопроизводительной вычислительной системы. Компиляция приложений. Запуск задач. Получение результатов запуска.

Тема 3. Параллелизм и его использование.

Параллельная обработка данных. Конвейерность и параллельность. Информационная зависимость.

Использование параллелизма. Крупноблочное распараллеливание. Распределение итераций циклов. Эквивалентные преобразования. Распределение данных.

Эффективность распараллеливания. Закон Амдала. Согласование структуры программ и алгоритмов с особенностями архитектуры параллельных вычислительных систем.

Раздел II. Технология программирования MPI.

Тема 4. Основные понятия MPI.

Компьютеры с распределённой памятью. SPMD-модель параллельного программирования.

Компиляция и запуск программ, использующих MPI.

Множество параллельных взаимодействующих процессов. Последовательная и параллельная части программы. Посылка сообщений.

Группы процессов. Коммуникаторы. Предопределённые коммуникаторы. Атрибуты процесса: коммуникатор и номер в коммуникаторе.

Сообщения. Атрибуты сообщений.

Возвращаемое значение функций MPI. Предопределённые значения, соответствующие различным ошибочным ситуациям.

Тема 5. Общие процедуры MPI.

Инициализация параллельной части программы. Завершение параллельной части приложения.

Общая схема MPI-программы.

Определение числа параллельных процессов в коммуникаторе. Определение номера процесса в коммуникаторе.

Определение астрономического времени в секундах, прошедшего с некоторого момента в прошлом. Определение разрешения таймера. Определение имени узла, на котором запущен процесс.

Тема 6. Передача/приём сообщений между отдельными процессами.

Взаимодействие процессов посредством посылки сообщений. Операции типа точка-точка. Отправитель и получатель сообщения.

Процедуры с блокировкой и без блокировки.

Блокирующая посылка данных. Типы данных. Предопределённые константы типов данных.

Посылка данных несуществующему процессу.

Передача сообщения с буферизацией. Передача сообщения с синхронизацией. Передача сообщения по готовности.

Назначение и освобождение пользовательских буферов.

Блокирующий приём данных. Предопределённые константы MPI_ANY_SOURCE и MPI_ANY_TAG. Доступ к атрибутам принятого или принимаемого сообщения.

Определение числа принятых или принимаемых элементов сообщения.

Получение информации о структуре ожидаемого сообщения.

Передача/приём сообщений без блокировки. Неблокирующая посылка данных. Неблокирующий приём данных. Получение информации о структуре ожидаемого сообщения без блокировки.

Ожидание завершения асинхронных операций. Проверка завершенности асинхронных операций.

Отложенные запросы на взаимодействие. Формирование отложенного запроса на посылку сообщения. Формирование отложенного запроса на приём сообщения. Инициализация отложенных запросов на выполнение операций обмена.

Тупиковые ситуации (deadlock). Способы разрешения тупиковых ситуаций.

Совмещённые приём и передача сообщений с блокировкой.

Тема 7. Коллективные взаимодействия процессов.

Понятие операций коллективного взаимодействия процессов.

Барьерная синхронизация процессов.

Рассылка данных от выделенного процесса всем процессам данного коммутатора.

Сборка данных со всех процессов коммутатора в буфере выделенного процесса. Сборка различного количества данных со всех процессов коммутатора в буфере выделенного процесса.

Рассылка элементов данных выделенного процесса всем процессам коммутатора. Рассылка различного количества данных выделенного процесса всем процессам коммутатора.

Сборка данных со всех процессов коммутатора в буфере каждого процесса. Сборка различного количества данных со всех процессов коммутатора в буфере каждого процесса.

Рассылка каждым процессом коммутатора различных порций данных всем процессам. Рассылка каждым процессом коммутатора различного количества данных всем процессам.

Выполнение независимых глобальных операций. Предопределённые глобальные операции. Задание пользовательской функции для выполнения глобальной операции. Уничтожение пользовательской глобальной операции. Выполнение независимых частичных глобальных операций.

Тема 8. Группы и коммутаторы.

Операции с группами процессов. Предопределённые группы. Получение группы, соответствующей коммутатору. Создание группы из процессов прежней группы с заданными рангами. Создание группы из процессов прежней группы с исключением процессов с заданными рангами. Операции пересечения, объединения и разности групп. Определение количества процессов в группе. Определение номера процесса в группе. Определение рангов заданных процессов в другой группе. Сравнение групп. Уничтожение группы.

Операции с коммутаторами. Понятие коммутатора. Дублирование коммутатора. Создание коммутатора для процессов заданной группы. Разбиение коммутатора на несколько новых коммутаторов. Удаление коммутатора.

Тема 9. Виртуальные топологии.

Понятие топологии процессов. Декартова топология и топология графа. Определение типа топологии, связанной с коммутатором.

Создание коммутатора, обладающего декартовой топологией. Оп-

деление размеров для каждой из размерностей при создании декартовой топологии. Определение декартовых координат процесса по его рангу в коммуникаторе. Определение ранга процесса в коммуникаторе по его декартовым координатам. Расщепление коммуникатора, с которым связана декартова топология, на подгруппы. Определение размерности декартовой топологии, связанной с коммуникатором. Получение информации о декартовой топологии коммуникатора и координатах в ней вызвавшего процесса. Получение номеров посылающего и принимающего процессов в декартовой топологии коммуникатора для осуществления сдвига. Циклический сдвиг и линейный сдвиг.

Создание нового коммуникатора с топологией графа. Определение количества непосредственных соседей процесса в графовой топологии, связанной с коммуникатором. Определение рангов непосредственных соседей процесса в графовой топологии, связанной с коммуникатором. Определение числа вершин и числа рёбер графовой топологии, связанной с коммуникатором. Определение информации о топологии графа, связанной с коммуникатором.

Тема 10. Пересылка разнотипных данных.

Производные типы данных. Конструирование типа. Создание нового типа данных, состоящего из последовательно расположенных элементов базового типа данных. Создание нового типа данных, состоящего из блоков элементов базового типа данных. Создание структурного типа данных. Регистрация созданного производного типа данных. Аннулирование производного типа данных. Определение размера типа данных в байтах. Определение абсолютного байт-адреса размещения массива в оперативной памяти компьютера. Определение смещения нижней и верхней границы элемента типа данных от начала буфера данных. Определение диапазона типа данных в байтах.

Упаковка данных. Распаковка данных. Определение необходимого объёма памяти для упаковки элементов типа данных. Пересылка упакованных данных.

Раздел III. Технология программирования OpenMP.

Тема 11. Основные понятия OpenMP.

Системы с общей памятью. Потоки. Многопоточность. Инкрементальное программирование. SPMD-модель параллельного программирования.

Компиляция программ, использующих OpenMP. Поддержка различных стандартов. Условная компиляция.

Последовательные и параллельные области. Директивы компилятору. Опции директив. Функции библиотеки OpenMP периода выполнения. Переменные окружения. Заглушки.

Запуск программы. Определение астрономического времени в секундах, прошедшего с некоторого момента в прошлом. Определение разрешения таймера в секундах.

Тема 12. Параллельные и последовательные области.

Задание параллельной области. Возможные опции. Сокращённая за-

пись.

Задание количества нитей, выполняющих параллельную область. Динамическое изменение количества нитей, используемых для выполнения параллельной области. Определение максимально допустимого числа нитей для использования в следующей параллельной области. Определение количества процессоров, доступных для использования программе пользователя на момент вызова. Вложенные параллельные области.

Выполнение участка кода в параллельной области только одной нитью. Возможные опции. Выполнение участка кода в параллельной области только нитью-мастером. Возможные опции.

Тема 13. Модель данных.

Классы переменных. Общие переменные. Локальные переменные. Класс переменных по умолчанию. Явное задание классов переменных.

Тема 14. Распределение работы.

Низкоуровневое распараллеливание. Получение уникального номера нити в текущей параллельной области. Получение количества нитей в текущей параллельной области.

Параллельные циклы. Возможные опции. Способы распределения итераций.

Параллельные секции. Возможные опции.

Задачи (tasks). Выделение отдельной независимой задачи. Возможные опции. Завершение всех запущенных задач.

Тема 15. Синхронизация.

Барьерная синхронизация.

Выполнение блоков внутри тела цикла в том порядке, в котором итерации идут в последовательном цикле.

Критические секции. Атомарные операции.

Замки. Простые замки и множественные замки. Инициализация замка. Переведение замка в неинициализированное состояние. Захватывание замка. Освобождение замка. Неблокирующая попытка захвата замка.

Согласование областей памяти запущенных нитей.

Тема 16. Дополнительные переменные среды и функции.

Максимально допустимое количество вложенных параллельных областей. Количество вложенных параллельных областей в данном месте кода. Определение номера нити, породившей данную нить. Определение количества нитей, порождённых одной родительской нитью. Определение количества вложенных параллельных областей, обрабатываемых более чем одной нитью, в данном месте кода. Задание размера стека для создаваемых из программы нитей. Задание поведения ждущих процессов. Задание максимального числа нитей, допустимых в программе.

5. Тематический план курса

Распределение часов курса по темам и видам работ представлено в таблице 1

Таблица 1

№ п/п	Наименование тем и разделов	Всего (часов)	Лекции (часов)
1	Коротко об операционной системе UNIX.	1	0.5
2	Краткие сведения о целевой высокопроизводительной вычислительной системе.	1	0.5
3	Параллелизм и его использование.	0.5	0.5
4	Основные понятия MPI.	0.5	0.5
5	Общие процедуры MPI.	1	0.5
6	Передача/приём сообщений между отдельными процессами.	4	1.5
7	Коллективные взаимодействия процессов.	4	1.5
8	Группы и коммутаторы.	2	1
9	Виртуальные топологии.	2	1
10	Пересылка разнотипных данных.	2	1
11	Основные понятия OpenMP.	1	0.5
12	Параллельные и последовательные области.	3.5	2
13	Модель данных.	1.5	1
14	Распределение работы.	4	2
15	Синхронизация.	3	1.5
16	Дополнительные переменные среды и функции.	1	0.5
	ИТОГО:	32	16

6. Литература и Web-источники

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. - 608 с.
2. Антонов А.С. Введение в параллельные вычисления. Методическое пособие.-М.: Изд-во Физического факультета МГУ, 2002. - 70 с.
3. Букатов А.А., Дацюк В.Н., Жегуло А.И. Программирование многопроцессорных вычислительных систем // Ростов-на-Дону: Издательство ООО "ЦВВР", 2003.
4. Шпаковский Г.И., Серикова Н.В. Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI: Пособие // Минск: БГУ, 2002.
5. Немнюгин С.А., Стесик О.Л. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем // СПб.: БХВ-Петербург, 2002.
6. Корнеев В.Д. Параллельное программирование в MPI // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000.
7. Barbara Chapman, Gabriele Jost, Ruud van der Pas. Using OpenMP: portable shared memory parallel programming (Scientific and Engineering Computation). Cambridge, Massachusetts: The MIT Press., 2008. - 353 pp.
8. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии MPI: Учебное пособие. -М.: Изд-во МГУ, 2004. - 71 с.
9. Антонов А.С. Параллельное программирование с использованием технологии OpenMP: Учебное пособие. -М.: Изд-во МГУ, 2009.-77 с.