

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы магистратуры
по направлению подготовки
09.04.01 Информатика и вычислительная техника,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Современные компьютерные архитектуры

Направление подготовки: 09.04.01 Информатика и вычислительная техника

Направленность (профиль): Компьютерные сети и технологии

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 4196
Подписал: заведующий кафедрой Желенков Борис
Владимирович
Дата: 20.10.2022

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целью освоения учебной дисциплины являются:

- изучение студентами теории и практики основ построения отечественных микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» и вычислительных комплексах на их основе, разработке эффективных программ для данных архитектур на языках C/C++.

Задачами дисциплины являются:

- формирование навыков анализировать архитектуру построения отечественных микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» и вычислительных комплексах на их основе, а также направления развития архитектуры средств вычислительной техники и информационных технологий;

- овладение основными методами разработки эффективных программ для микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» на языках C/C++;

- овладение основными методами управления вычислительным процессом при параллельной обработке данных.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ОПК-6 - Способен разрабатывать компоненты программно-аппаратных комплексов обработки информации и автоматизированного проектирования;

ПК-7 - Применение перспективных методов исследования и решения профессиональных задач на основе знания мировых тенденций развития вычислительной техники и информационных технологий.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- принципы построения и функционирования вычислительных комплексов серии «Эльбрус» и вычислительных систем на их основе;

- основные методы разработки эффективных программ для микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус» на языках C/C++;

- основные направления развития архитектуры средств вычислительной техники и информационных технологий.

Уметь:

- осуществлять сбор и проводить анализ исходных данных для

разработки программ высокопроизводительных вычислений;

- применять основные методы оптимизации исходного кода программ, разработанных на языках программирования C/C++;

- использовать опций компилятора, специализированную математическую библиотеку (eml), средства отладки, профилирования программ для создания эффективных прикладных программ под архитектуру «Эльбрус»;

- применять основные методы управления вычислительным процессом при параллельной обработке данных.

Владеть:

- навыками установки общего и прикладного программного обеспечения;

- изучение научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования

- навыками разработки программ для решения прикладных задач с использованием высокопроизводительных систем в соответствии с техническим заданием с использованием;

- навыками составления отчета по выполненному заданию, участия во внедрении результатов исследований и разработок;

- навыками разработки документации с учетом требований стандартизации.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 4 з.е. (144 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Сем. №2
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	32	32
В том числе:		
Занятия лекционного типа	16	16
Занятия семинарского типа	16	16

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 112 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	<p>Тема 1 Общие сведения об микропроцессорах архитектуры Эльбрус и Sparc Рассматриваются вопросы: -Общие сведения об отечественных современных микропроцессорах архитектуры Эльбрус и Sparc, вычислительных комплексах и общем программном обеспечении.</p> <p>Тема 2 Микропроцессоры с архитектурой Sparc Рассматриваются вопросы: -Обзор микропроцессоров с архитектурой Sparc; - Основные принципы построения, свойства и характеристики архитектуры Sparc.</p> <p>Тема 3 Микропроцессоры с архитектурой Эльбрус Рассматриваются вопросы: -Обзор микропроцессоров с архитектурой Эльбрус.; -Основные принципы построения, свойства и характеристики архитектуры Эльбрус.</p> <p>Тема 4 Исполняемый код архитектуры Эльбрус - Рассматриваются вопросы: Особенности получения эффективного исполняемого кода архитектуры Эльбрус.</p> <p>Тема 5. Принципы оптимизации исходного текста программы компилятором, основные источники оптимизации в исходных текстах программ Рассматриваются вопросы: - базовые блоки и графы потоков данных вычислительного процесса; - основные типы оптимизируемых процедур; - общие архитектурно независимые рекомендации по написанию оптимальных исходных текстов</p>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<p>программ.</p> <p>Тема 6. Основные концепции и методы, используемые для обнаружения параллелизма уровня команд Рассматриваются вопросы: - конвейерная обработка, базовые и вспомогательные концепции; - параллелизм уровня команд и его использование в микропроцессорной архитектуре «Эльбрус»; - рекомендации по использованию параллелизма уровня команд в циклических вычислениях.</p> <p>Тема 7. Средства организации параллельных вычислений на уровне потоков и процессов в вычислительных комплексах семейства «Эльбрус» Рассматриваются вопросы: - управление процессам - управление потоками в процессах.</p> <p>Тема 8. Защищенное программирование Особенности защищенного программирования и бинарной трансляции исполняемого кода архитектуры x86(-64). Рассматриваются вопросы: 1. Основные принципы безопасного исполнения программ в системах на базе микропроцессоров с архитектурой «Эльбрус». Архитектурная поддержка типизации данных. 2. Модель угроз программ на языке Си. 3. Решения некоторых угроз языка Си в защищенном режиме. 4. Примеры программ с уязвимостями и результаты их выполнение в обычном и защищенном режимах: - обращение к несуществующему элементу массива; - использование указателей после неправильных арифметических операций над ними; - использование неинициализированных значений переменных; - использование зависших указателей после освобождения памяти; - утечки памяти; - использование неправильных типов и/или неверного количества переменных в вызовах функций с переменным числом аргументов.</p>

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	<p>1. Раздел 2. Анализ принципов построения и функционирования микропроцессоров с архитектурами «Эльбрус». Лабораторная работа № 1. Управление динамической памятью вычислительного процесса. ЦЕЛЬ: Дать обучаемому навыки создания программ на языках программирования C/C++ при помощи средств разработки, входящих в состав ОС Debian, ОПО «Эльбрус», и применения отладчика gdb для исследования стека исполняемых процессов программ.</p> <p>2. Раздел 2. Анализ принципов построения и функционирования микропроцессоров с архитектурами «Эльбрус» и «Sparc». Лабораторная работа №2. Основы работы с бинарным транслятором уровня приложений операционной системы «Эльбрус». Разработка программы на языке C и анализ ее работы в окружении бинарного транслятора. ЦЕЛЬ: Сформировать у обучающихся практические умения разработки, отладки и запуска программ</p>

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
	<p>на языке Си в режиме бинарной трансляции кодов архитектуры Intel x86 на отечественной архитектуре e2k. Развить у обучающихся желание к повышению уровня профессиональных знаний в области методов и способов эксплуатации алгоритмического обеспечения отечественных вычислительных комплексов «Эльбрус».</p> <p>3. Раздел 3. Программирование для современных отечественных вычислительных комплексов с архитектурой «Эльбрус» Лабораторная работа №3. Анализ времени выполнения программ. Профилирование кода и поиск критических участков исполняемого кода программы. ЦЕЛЬ: Дать обучаемому основы методики профилирования программ, разработанных на языках C/C++, поиска и анализа критических участков исполняемого кода программы с целью их последующей оптимизации, обеспечивающей сокращение времени выполнения программы в целом.</p> <p>4. Раздел 3. Программирование для современных отечественных вычислительных комплексов с архитектурой «Эльбрус» Лабораторная работа № 4. Разработка эффективных программ для отечественной архитектуры «Эльбрус», включающих в свой состав большое число циклов, рекурсий и специальных арифметических операций. ЦЕЛЬ: Дать обучаемому основы методики разработки эффективных программ для отечественной архитектуры «Эльбрус», а также общие архитектурно независимые рекомендации по написанию эффективных программ, включающих в свой состав большое число циклов, рекурсий и специальных арифметических операций.</p> <p>5. Раздел 3. Программирование для современных отечественных вычислительных комплексов с архитектурой «Эльбрус» Лабораторная работа № 6. Разработка эффективных программ для отечественной архитектуры «Эльбрус», использующих технологию предварительной подкачки элементов нелинейных массивов данных. ЦЕЛЬ: Дать обучаемому основы методики разработки эффективных программ для отечественной архитектуры «Эльбрус», а также общие архитектурно независимые рекомендации по написанию эффективных программ, использующих технологию предварительной подкачки элементов нелинейных массивов данных.</p> <p>6. Раздел 3. Программирование для современных отечественных вычислительных комплексов с архитектурой «Эльбрус» Лабораторная работа № 6. Разработка эффективных программ для архитектуры «Эльбрус» с использованием высокопроизводительной математической библиотеки EML. ЦЕЛЬ: Дать обучаемому основы методики разработки эффективных программ для отечественной архитектуры «Эльбрус» с использованием высокопроизводительной математической библиотеки eml.</p> <p>7. Раздел 3. Программирование для современных отечественных вычислительных комплексов с архитектурой «Эльбрус» Лабораторная работа № 7. Разработка эффективных программ для отечественной архитектуры «Эльбрус», использующих технологию предварительной подкачки элементов нелинейных массивов данных. ЦЕЛЬ: Дать обучаемому основы методики разработки эффективных программ для отечественной архитектуры «Эльбрус», а также общие архитектурно независимые рекомендации по написанию эффективных программ, использующих технологию предварительной подкачки элементов нелинейных массивов данных.</p> <p>8. Раздел 3. Программирование для современных отечественных вычислительных комплексов с архитектурой «Эльбрус» Лабораторная работа № 8. Модель угроз программ на языке C. Защищенный режим.</p>

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
	ЦЕЛЬ: Сформировать у обучающихся практические умения разработки, отладки и запуска сценариев (программ) на языке C, в обычном режиме и защищенном.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	1. Изучение основ программирования на языке C/C++
2	Изучение основ отладки программ, разработанных на языках программирования C/C++, с использованием gdb в среде операционной системы Debian версий 9, 10
3	Подготовка к лабораторным работам
4	Изучение учебной литературы из приведенных источников
5	Выполнение курсовой работы.
6	Подготовка к промежуточной аттестации.
7	Подготовка к текущему контролю.

4.4. Примерный перечень тем курсовых работ

Описание курсовой работы

Тема «Проектирование приложений для микропроцессоров с архитектурой Эльбрус»

Вариант № 1

Линейная алгебра: Умножение матриц, решение СЛАУ (linpack)

Для всех версий системы команд Эльбрус производительность на алгоритме gemm(обобщенное умножение матриц) приближается к теоретическому пределу при достаточно большом размере матриц. Используется 8-тактный конвейеризированный цикл подсчета блока скалярных произведений строк на столбцы, в каждом такте все alu-устройства заняты fmuladd (qrfmuladd начиная с v5), данные читаются с помощью команд moва и поэтому не конфликтуют за ресурс alu с арифметическими командами.

Для решения систем линейных уравнений в задаче linpack повсеместно используется алгоритм, сводящий задачу к множеству вызовов dgemm для различных размеров матриц. Производительность на тесте hpl достигает 75% пиковой для системы.

Вариант № 2

Для векторов, которые помещаются в половину объема L2, производительность приближается к теоретической, которая ввиду специфики баланса арифметических операций в fft составляет $10/16 = 62.5\%$ от пиковой. Используется классический алгоритм Кули-Тьюки с объединением слоев по 3, с последующей конвейеризации цикла. Для версии v5+ архитектуры Эльбрус также используется векторизация.

Вариант № 3

Последовательный скалярный код.

Если в коде процедуры или рассматриваемого участка нет операций передачи управления, то он будет спланирован компилятором в точном соответствии с потоком данных и длительностью операций.

Потери могут происходить из-за избыточного параллелизма в случае долгого времени жизни переменных: в таком случае может возникать нехватка регистров. Однако, эта ситуация достаточно редкая.

Другой вид потерь — потенциальные конфликты операций работы с памятью. Для их разрешения компилятором используется механизм DAM динамического разрыва конфликтов.

Вариант № 4

Ветвящийся ациклический код.

В случае, когда в коде процедуры есть множество ветвлений, компилятор использует слияние кода с использованием предикатного и спекулятивного режима исполнения. Слияние кода позволяет укрупнить линейные участки со средним размером $\sim 5-7$ операций до гиперузлов с 40-70 операциями и 4-5 выходами, что позволяет планировать операции перехода на достаточной средней дистанции.

Спекулятивное исполнение уменьшает степень утилизации исполнительных устройств, т. к. исходные операции исполнялись не при каждом входе в участок, а с некоторой вероятностью, зависящей от линейных участков содержащих эти операции. Также есть определенные потери высоты планирования некоторых траекторий из-за невозможности дублирования всех возможных траекторий исполнения кода в точках схождения управления.

Реалистичная оценка таких потерь очень сильно зависит от специфики оптимизируемой задачи. Примерная оценка такова: из доступной параллельности 6 по количеству исполнительных устройств реализуется полезный параллелизм по высоте в количестве ~ 3 , за счет возникающего при

слиянии бесполезного параллелизма по ширине в количестве ~2

($2*3 = 6$).

Вариант № 5

Вызовы небольших процедур.

Необходимо следить за inline-подстановкой процедур небольшого размера (до 15 тактов), т. к. в таких процедурах собственный параллелизм на уровне инструкций недостаточен для использования ресурсов ШК.

Вызовы и переходы по косвенности.

Вызов и переход по косвенности являются дорогостоящими операциями, поэтому горячие участки с вызовами по косвенности либо switch-конструкциями со значительным количеством вероятных альтернатив, реализующихся через операцию перехода по косвенности, планируются в условиях наличия операций с длинной задержкой getpl/movtd. Если альтернативы switch короткие, это также приводит к недостаточному параллелизму на уровне инструкций. То же относится к вызовам процедур небольшого размера.

Содержание отчета по курсовой работе

Структура отчета по курсовой работе:

Титульный лист.

Содержание.

Введение.

Основная часть:

1. Постановка задачи курсовой работы.

2. Обзор современных процессоров серии «Эльбрус», анализ принципов построения и функционирования архитектуры «Эльбрус».

3. Анализ вычислительной задачи, её характеристик: прикладная область, вычислительная сложность, масштабируемость. Описание исходных данных.

4. Алгоритм и описание реализации (в том числе основные концепции и методы, используемые для обнаружения параллелизма уровня команд, применение специализированных (высокопроизводительных) математических библиотек) вычислительной задачи для платформ на базе процессоров с архитектурой x86(-64) (ПЭВМ на выбор студента), «Эльбрус» (ВК «Эльбрус-

401PC», ВК «Эльбрус-801PC», сервер «Эльбрус-804» на базе процессоров «Эльбрус-4C», «Эльбрус-8C» соответственно).

5. Выполнение оптимизации кода программы для обеспечения максимальной производительности на выбранных вычислительных средствах.

6. Выполнение экспериментов по запуску программы на выбранных вычислительных средствах для получения времени исполнения однопоточного и многопоточных профилей программы. В качестве параметров запуска программы должны использоваться: количество параллельных потоков, размерность входных данных. Для каждого профиля программы измеряется время его выполнения. Программа считается успешно выполненной, если она завершилась корректно, а результат ее выполнения совпадает с контрольным.

7. Анализ достигнутых характеристик (время исполнения, объем исполняемого кода, время компиляции программы, оценка наполнения широкой команды операциями, оценка достигнутой производительности процессора при выполнении вычислительной задачи) реализации программы на ПЭВМ архитектуры x86(-64), ВК «Эльбрус-401PC», ВК «Эльбрус-801PC», сервере «Эльбрус-804».

8. Сборка программы с опцией «-mptr128» для использования режима безопасных вычислений. Запуск программы на ВК «Эльбрус-801PC»/«Эльбрус-804». Анализ полученных результатов, оценка достигнутого ускорения выполнения вычислительной задачи.

9. Графическое и табличное отображение полученных результатов экспериментов.

10. Выводы.

Заключение должно содержать выводы по результатам курсовой работы.

Литература.

Отчет должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-2017.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Нейман-заде М.,	Руководство по эффективному программированию на

	Королёв С. Руководство по эффективному программированию на платформе «Эльбрус» М.: АО МЦСТ – 2020	платформе «Эльбрус»/МЦСТ (mcst.ru), на платформе «Эльбрус» 1.1 (altlinux.org)(дата обращения: 10.10.2022)
2	Ким А.К., Перекатов В.И., Ермаков С.Г. Микропроцессоры и вычислительные комплексы семейства «Эльбрус». – СПб.: Питер, 2013	www.mcst.ru/files/511cea/886487/1a8f40/000000/book_elbrus.pdf (дата обращения: 10.10.2022)
3	Богатырев В. А. Информационные системы и технологии. Теория надежности: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры. ISBN 978-5-534-00475-5	URL: https://urait.ru/bcode/413860 (дата обращения: 10.10.2022). Текст : электронный
4	Мартышкин, А. И. Современные высокопроизводительные вычислительные системы. Конспект лекций для студентов специальности 230100.62 дневной, вечерней и заочной форм обучения : учебное пособие / А. И. Мартышкин. — Пенза : ПензГТУ, 2014. — 204 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система.	URL: https://e.lanbook.com/book/62754 (дата обращения: 10.10.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

- Разделы «Главное», «Наука и образование», «Публикации» на сайте «МЦСТ «Эльбрус». Российские микропроцессоры и вычислительные комплексы», <http://www.mcst.ru>

- Интернет-университет информационных технологий
<http://www.intuit.ru/>

- Тематический форум по информационным технологиям
<http://habrahabr.ru/>

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

1. Дистрибутив ОС «Эльбрус-Linux» в составе комплекта поставки ВК «Эльбрус-801PC», ВК «Эльбрус-804».

2. Дистрибутив ОС Debian версии 9, 10.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций

Проектор для вывода изображения на экран для студентов, акустическая система, место для преподавателя оснащенное компьютером (CP UCorei3, 8GBRAM, 1Tb HDD, GeForce GTSeries).

2. Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий

Проектор для вывода изображения на экран для студентов, акустическая система, место для преподавателя оснащенное компьютером (CP UCorei3, 8GBRAM, 1Tb HDD, GeForce GTSeries).

20 ВК «Эльбрус-801PC».

3. В случае проведения занятий с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий необходимо наличие компьютерной техники, для организации коллективных и индивидуальных форм общения педагогических работников со студентами, посредством используемых средств коммуникации.

Допускается замена оборудования его виртуальными аналогами.

9. Форма промежуточной аттестации:

Курсовая работа во 2 семестре.

Экзамен во 2 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной

аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

доцент, к.н. кафедры
«Вычислительные системы, сети и
информационная безопасность»

Н.А. Шаменков

Согласовано:

Заведующий кафедрой ВССиИБ
Председатель учебно-методической
комиссии

Б.В. Желенков

Н.А. Клычева