Приложение 4

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Институт информационных технологий, математики и механики

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Архитектуры и операционные системы

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки / специальность
02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии

Направленность образовательной программы
Инженерия программного обеспечения

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.06.04 Архитектуры и операционные системы относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	**Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции**		**Наименование оценочного средства**	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	**Результаты обучения по дисциплине**	**Для текущего контроля успеваемости**	**Для промежуточной аттестации**
ПК-4: Способен проектировать программное обеспечение	*ПК-4.1: Знает типовые решения, библиотеки программных модулей, шаблоны, классы объектов, используемые при разработке программного обеспечения* *ПК-4.2: Знает методы и средства проектирования программного обеспечения* *ПК-4.4: Умеет использовать существующие типовые решения и шаблоны проектирования программного обеспечения*	*ПК-4.1:* *ПК-4.1. З-1. Знает алгоритмы решения типичных задач, области и способы их применения* *ПК-4.1. З-2. Знает нотации и программное обеспечение для графического отображения алгоритмов.* *ПК-4.1. З-3. Знает методы и приемы алгоритмизации поставленных задач* *ПК-4.1. У-1. Умеет использовать методы и приемы формализации и алгоритмизации поставленных задач* *ПК-4.1. У-2. Умеет применять алгоритмы решения типовых задач в соответствующих областях* *ПК-4.2:* *ПК-4.2. З-1. Знает основные разделы математики, применяемые для анализа и моделирования непрерывных процессов и дискретных систем в прикладных задачах* *ПК-4.2. У-1. Умеет выбирать адекватный математический аппарат для формализованного описания сущностей и отношений на основе ТЗ и бизнес-требований* *ПК-4.2. В-1. Владеет*	*Контрольная работа*	*Зачёт: Контрольные вопросы*

		навыками описания задач предметной области в виде формальных математических моделей, пригодных для последующей алгоритмизации и программной реализации *ПК-4.4:* *ПК-4.4. З-1. Знает синтаксис выбранного языка программирования, особенности программирования на этом языке, стандартные библиотеки языка программирования* *ПК-4.4. З-2. Знает методологии разработки компьютерного программного обеспечения* *ПК-4.4. З-3. Знает технологии программирования* *ПК-4.4. У-1. Умеет применять выбранные языки программирования для написания программного кода* *ПК-4.4. У-2. Умеет использовать выбранную среду программирования.* *ПК-4.4. У-3. Умеет использовать возможности имеющейся технической и/или программной архитектуры для написания программного кода*		

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	**3**
Часов по учебному плану	**108**
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	**16**
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	**16**
- КСР	**1**
самостоятельная работа	**75**

Промежуточная аттестация	**0** **Зачёт**

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

.

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	ооо	ооо	ооо	ооо	ооо
Суперскалярная архитектура CPU в современных процессорах	40	6	4	10	30
Архитектура VLIW	5	1	0	1	4
Популярные расширения архитектуры системы команд	16	2	2	4	12
Механизм прерываний и их обработка в процессорах с разной микроархитектурой	7	1	0	1	6
Оптимизация реализации кеша	14	4	2	6	8
Использование эмуляторов архитектур и микроархитектур	25	2	8	10	15
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	16	16	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Цели и задачи изучения дисциплины.
Целями освоения дисциплины являются:
- формирование у обучающихся системных знаний о современных архитектурах вычислительных систем и микроархитектурных решениях процессоров;
- формирование знаний о современных расширениях архитектур системы команд, включая векторные, матричные и специализированные расширения;
- приобретение практических навыков анализа, моделирования и исследования поведения процессоров и подсистем памяти с использованием эмуляторов и симуляторов архитектур.

Задачами освоения дисциплины являются:
- освоение алгоритмов работы стадий выборки, декодирования, выдачи, исполнения и завершения инструкций в современных CPU;
- изучение механизмов динамического планирования инструкций, переименования регистров и управления зависимостями;
- изучение современных расширений архитектур системы команд, включая SIMD-, векторные, матричные и другие расширения;
- изучение методов оптимизации работы с памятью при разработке приложений;
- приобретение практических навыков работы с эмуляторами и симуляторами архитектур и

микроархитектур процессоров.

Содержание разделов и тем дисциплины.
1. Суперскалярная архитектура CPU в современных процессорах
Общая структура современного суперскалярного процессора. Стадия выборки инструкций (Fetch), предвыборка инструкций, очереди инструкций. Стадия декодирования (Decode), микрооперации, ограничения пропускной способности декодеров. Стадия выдачи инструкций (Dispatch/Issue), динамическое планирования, переименование регистров. Стадия исполнения (Execute), конвейеризация на стадии, параллельное исполнение. Стадия записи результатов (Writeback/Commit), буфер переупорядочивания (ROB), подтверждение инструкций, поддержание точного состояния процессора, исключения и откат выполнения. Производительность суперскалярных CPU.
2. Архитектура VLIW (Very Long Instruction Word)
Принцип длинного машинного слова. Статическое планирование инструкций. Пакетирование операций, роль компилятора. Динамическое планирование инструкций. Преимущества и недостатки VLIW.
3. Популярные расширения архитектуры системы команд
Причины появления расширений ISA. Векторные расширения. Матричные расширения. Специализированные расширения: аппаратное ускорение шифрования, инструкции упаковки данных, расширения для виртуализации. Проблемы совместимости.
4. Механизм прерываний и их обработка
Классификация прерываний. Обработка прерываний в in-order CPU. Обработка прерываний в out-of-order CPU, точное состояние процессора. Прерывания в суперскалярных процессорах. Контроллеры прерываний. Влияние прерываний на производительность.
5. Оптимизация реализации кеша
Иерархия памяти, принцип локальности, организация кеша. Конвейеризованная запись в кеш. Буфер записи, объединение операций записи, конфликты и переполнение буфера. Аппаратная предвыборка (Hardware Prefetching), предсказание шаблонов доступа, адаптивные предвыборщики. Многопортовость кеша. Банковая организация кеша, конфликты банков.
6. Использование эмуляторов архитектур и микроархитектур
Назначение эмуляторов. Типы эмуляторов (функциональные / тактово-точные / полносистемные). Моделирование микроархитектуры. Анализ производительности с использованием эмуляторов. Популярные инструменты.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:
Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

Архитектура и организация ЭВМ, https://e-learning.unn.ru/course/view.php?id=2435.

Иные учебно-методические материалы:
А.В. Кудин, А.В. Линёв. Архитектура и операционные системы параллельных вычислительных систем. Нижний Новгород, 2007. http://www.unn.ru/books/resources.html
С.Бастраков, В.Гергель, А.Горшков, Е.Козинов, А.Линев, И.Мееров, А.Сиднев, А.Сысоев. Введение в принципы функционирования и применения современных мультиядерных архитектур (на примере Intel Xeon Phi). http://www.intuit.ru/studies/courses/10611/1095/info

В.Гуров, В.Чуканов. Архитектура и организация ЭВМ.
http://www.intuit.ru/studies/courses/60/60/info
В.Гуров. Архитектура микропроцессоров. http://www.intuit.ru/studies/courses/604/460/info
Д.Северов. Архитектура вычислительных систем и язык ассемблера.
http://www.intuit.ru/studies/courses/535/391/info

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-4:

Что такое суперскалярная архитектура процессора?

Какие стадии включает типичный конвейер современного CPU?

Как организована стадия выборки инструкций (Fetch)?

Какие задачи выполняет стадия декодирования (Decode)?

Что такое диспетчеризация и выдача инструкций (Dispatch/Issue)?

Что такое окно инструкций (instruction window)?

Как работает переименование регистров (register renaming)?

Для чего используются reservation stations?

Что такое ROB (Reorder Buffer) и зачем он нужен?

Чем VLIW отличается от суперскалярной архитектуры?

Кто отвечает за планирование инструкций в VLIW?

Для чего применяются SIMD-расширения?

Для каких задач используются tensor/matrix instructions?

Что такое packed instructions?

Какие инструкции применяются для криптографии?

Как процессор обрабатывает прерывание в in-order CPU?

Какие сложности возникают при обработке прерываний в out-of-order CPU?

Что такое precise interrupt? Как ROB помогает реализовать precise exceptions?

Как суперскалярность влияет на обработку исключений?

Для чего нужен store queue?

Что такое конвейеризованная запись в кеш?

Как работает аппаратная предвыборка (hardware prefetch)?

Как многопортовость влияет на производительность кеша?

Что такое banking cache memory?

Чем отличается эмуляция от симуляции?

Какие задачи решают микроархитектурные симуляторы?

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент получил верный ответ во всех заданиях. При этом студент продемонстрировал знание дополнительного материала.
отлично	Студент получил верный ответ во всех заданиях. При этом студент продемонстрировал знание дополнительного материала.
очень хорошо	Студент получил верный ответ в большинстве заданий.
хорошо	Студент решил большую часть задач с незначительными недочетами.
удовлетворительно	Студент решил большую часть задач с существенными недочетами.
неудовлетворительно	Студент допускает грубые ошибки в решении стандартных задач.
плохо	Отсутствие знаний материала, отсутствует способность решения стандартных задач.

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индик	**плохо**	**неудовлетворительно**	**удовлетворительно**	**хорошо**	**очень хорошо**	**отлично**	**превосходно**
	не зачтено		**зачтено**				

атора достижения							
Знания	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		**Уровень подготовки**
зачтено	**превосходно**	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»

	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	**неудовлетворительно**	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-4

Что такое суперскалярная архитектура процессора?

Какие стадии включает типичный конвейер современного CPU?

Как организована стадия выборки инструкций (Fetch)?

Какие задачи выполняет стадия декодирования (Decode)?

Что такое диспетчеризация и выдача инструкций (Dispatch/Issue)?

Что такое окно инструкций (instruction window)?

Как работает переименование регистров (register renaming)?

Для чего используются reservation stations?

Что такое ROB (Reorder Buffer) и зачем он нужен?

Чем VLIW отличается от суперскалярной архитектуры?

Кто отвечает за планирование инструкций в VLIW?

Для чего применяются SIMD-расширения?

Для каких задач используются tensor/matrix instructions?

Что такое packed instructions?

Какие инструкции применяются для криптографии?

Как процессор обрабатывает прерывание в in-order CPU?

Какие сложности возникают при обработке прерываний в out-of-order CPU?

Что такое precise interrupt? Как ROB помогает реализовать precise exceptions?

Как суперскалярность влияет на обработку исключений?

Для чего нужен store queue?

Что такое конвейеризованная запись в кеш?

Как работает аппаратная предвыборка (hardware prefetch)?

Как многопортовость влияет на производительность кеша?

Что такое banking cache memory?

Чем отличается эмуляция от симуляции?

Какие задачи решают микроархитектурные симуляторы?

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Выполнены все или большая часть этапов решения задачи или задача решена с незначительными недочетами. Результаты работы представлены преподавателю в срок.
не зачтено	Выполнены не все практические задания или выполнены не в полном объеме (представлено не полное описание этапов выполнения заданий, получен неверный ответ, результаты работы не представлены преподавателю).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Максимов Николай Вениаминович. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем : учеб. для студентов учреждений сред. проф. образования, обучающихся по группе специальностей "Информатика и вычисл. техника". - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Форум, 2010. - 512 с. : ил. - (Профессиональное образование). - На обл. и корешке кн. загл.: Архитектура ЭВМ и вычислительные системы. - ISBN 978-5-91134-374-3 : 169.95. - Текст : непосредственный., 14 экз.

Дополнительная литература:

1. Паттерсон Дэвид. Архитектура компьютера и проектирование компьютерных систем = Computer Organization and Design. - 4-е изд. - СПб. : Питер, 2012. - 784 с. : ил. - (Классика Computer Science). - ISBN 978-5-459-00291-1 : 500.00. - Текст : непосредственный., 1 экз.
2. Гуров Валерий Валентинович. Архитектура микропроцессоров : учеб. пособие. - М. : Интернет-

Университет Информационных Технологий : Бином. Лаборатория знаний, 2010. - 272 с. : ил., табл. - (Основы информационных технологий). - ISBN 978-5-9963-0267-3 : 246.40. - Текст : непосредственный., 1 экз.
3. Кудин А. В. Архитектура и операционные системы параллельных вычислительных систем : учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «информационные технологии и компьютерное моделирование в прикладной математике» / Кудин А. В., Линёв А. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2007. - 73 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Информатика. - Текст : электронный., https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730170&idb=0.
4. Введение в принципы функционирования и применения современных мультиядерных архитектур (на примере Intel Xeon Phi) / Гергель В.П., Мееров И.Б., Бастраков С.И., Горшков А.В., Козинов Е.А., Линев А.В., Сиднев А.А., Сысоев А.В. - Москва : ИНТУИТ, 2016. - Текст : электронный., https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=662900&idb=0.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. Операционные системы семейства Microsoft Windows, лицензия по подписке Microsoft Imagine.
2. Браузер Google Chrome, предоставляется бесплатно на условиях лицензионных соглашений на программное обеспечение с открытым исходным кодом.
3. Среда разработки семейства Microsoft Visual Studio https://visualstudio.microsoft.com/ru/
4. ПО виртуалиазции Oracle VM VirtualBox (распространяется бесплатно в соответствии с условиями лицензии GPL версии 3).
5. ОС семейства Linux с установленным компилятором языка С (есть несколько бесплатных дистрибутивов).
6. Симулятор микроархитектур gem5 (распространяется бесплатно).

Интернет-ресурсы:
- http://e-learning.unn.ru/
- https://e-lib.unn.ru
- https://intuit.ru/

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии.

Автор(ы): Линев Алексей Владимирович.

Заведующий кафедрой: Мееров Иосиф Борисович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 13.12.2023, протокол № 3.