

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
радиотехники и компьютерных
технологий**

Д.А. Гаврилов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Симуляция компьютерных архитектур
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра микропроцессорных технологий в интеллектуальных системах управления
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: И.В. Петушков, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры микропроцессорных технологий в интеллектуальных системах управления 30.03.2023

Аннотация

Основной целью курса является ознакомление студентов с современными подходами проектирования и разработки программных моделей архитектуры компьютеров (симуляторов). Модели используются для проектирования, оптимизации, тестирования и верификации разрабатываемых вычислительных систем от стадии раннего проектирования до тестирования опытных образцов, а также для обеспечения обратной совместимости с устаревшими и выходящими из использования вычислительных систем.

В курсе рассматриваются основные подходы к разработке функциональных, потактовых, аналитических моделей архитектуры компьютера (ЭВМ) и особое внимание уделяется оптимизации производительности моделей. В начале курса изучаются простые интерпретирующие функциональные модели архитектуры, затем рассматриваются основные подходы к проектированию симуляторов с бинарной трансляцией.

Отдельные лекции посвящены рассмотрению существующих моделей (QEMU, BOCHS), а также моделированию архитектуры на уровне пользовательских программ (Valgrind, DynamoRIO). Практические задачи выполняются на примере архитектуры RISC-V.

Для успешного освоения курса слушателю необходимо владеть языком ассемблера и ЯВУ Си/Си++, уметь применять основные алгоритмы, знать основы архитектуры и микроархитектуры ЭВМ.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- представление теоретических принципов и практических подходов разработки программных моделей архитектуры ЭВМ, а также практического применения данных моделей.

Задачи дисциплины

Задачами дисциплины является формирование знаний и проектных навыков в моделировании архитектуры и микроархитектуры ЭВМ.

Знания получаемые слушателями курса:

- Проблемы проектирования новых архитектур и микроархитектур, решаемые с помощью моделирования на уровне архитектуры/микроархитектуры
- Существующие программные модели и их различия в скорости и точности моделирования.
- Основные алгоритмы и подходы используемые в современных симуляторах архитектуры ЭВМ

Проектные навыки получаемые слушателями курса:

- Программной реализации моделей архитектуры ЭВМ
- Программной реализации систем косимуляции архитектуры ЭВМ
- Оптимизации программных моделей архитектуры ЭВМ
- Применения программных моделей для моделирования архитектуры ЭВМ

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи

ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- разработки, тестирования, верификации аппаратного обеспечения ЭВМ и исследования работы ЭВМ;
- основные понятия и классификационные признаки, используемые в научной и промышленной среде для описания процессов симуляции, эмуляции, моделирования, понимать сходства и различия между ними;
- общий цикл создания новой аппаратной системы и вовлечённость симуляции на всех стадиях этого процесса;
- различия в подходах создания моделей процессоров и периферийных устройств, функциональных и потактовых моделей;
- задачи обеспечения высокой производительности и корректности реализации моделей устройств.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения прикладных, технологических задач проектирования и реализации программных моделей;
- принимать правильные решения о структуре создаваемой модели, исходя из её предназначения;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- работать с документацией к аппаратным средствам, уметь извлекать из неё информацию, релевантную проблемам моделирования;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- работать на современном оборудовании с использованием современных инструментов и технологий программирования.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы и использования информации из баз знаний в Интернет;
- культурой постановки и проектирования задач по разработке программного обеспечения;
- навыками использования современных инструментов программирования.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Моделирование как область знаний. Назначение и возможности программных моделей	1	1		1
2	Интерпретирующие модели	2	2		2
3	Оптимизация интерпретирующих моделей	3	3		3
4	Моделирование полной системы и пользовательского уровня	1	1		1
5	Косимуляция моделей	1	1		1
6	Модели с динамической бинарной трансляцией	1	1		1
7	Верификация программных моделей	1	1		1
8	Динамическая двоичная инструментация	2	2		2
9	Изучение существующих программных моделей	2	2		2
10	Модели производительности	1	1		1
Итого часов		15	15		15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Моделирование как область знаний. Назначение и возможности программных моделей

Понятия модели и моделирования. Назначение и роль моделирования в процессе разработки и выпуска программно-аппаратных платформ. Виртуализация, симуляция, эмуляция: сходства и различия. Обзор подходов к моделированию и классификация моделей. Проблема скорости моделирования.

2. Интерпретирующие модели

Элементы состояния вычислителя. Физическая память. Основной цикл работы процессора с поочередным исполнением инструкций: IF-DE-EX-ME-WB. Базовый принцип построения модели процессора. Кодирование и декодирование инструкций. Структура представления декодированной инструкции и её оптимизация.

3. Оптимизация интерпретирующих моделей

Кэширование результатов декодирования, построение линейных участков, шитый код и его реализация на Си/Си++. Связывание линейных участков, Программное TLB. Проблема самомодифицирующегося кода

4. Моделирование полной системы и пользовательского уровня

Планировщик событий. Формат ELF. Модель памяти пользовательской программы. Моделирование работы системных вызовов. Динамическая линковка приложений. Моделирование работы периферийных устройств. Реализация карты памяти

5. Косимуляция моделей

Гибридная косимуляция моделей разных уровней абстракции. Трассировка исполнения ПО. Сравнительная косимуляция нескольких моделей различных и одинаковых уровней абстракции.

6. Модели с динамической бинарной трансляцией

Перекомпиляция программы из машинного языка гостевой архитектуры в машинный язык хозяйской архитектуры. Преимущества и недостатки двоичной трансляции в сравнении с интерпретатором. Трансляция трасс и трансляция базовых блоков. Шаблонная трансляция. Генерация и применение шаблонов. Уровни оптимизации (передачи).

7. Верификация программных моделей

Основные подходы тестирования и верификации программных моделей. Сравнение подходов верификации с самопроверяющими тестами и тестами для сравнительной косимуляции. Ручная разработка тестов и генераторы тестов.

8. Динамическая двоичная инструментация

Общие принципы построения средств DBI/DBA на примере Valgrind, DynamoRIO. Подходы с инструментацией исходного бинарного кода и промежуточного представления. Изучение примеров плагинов к данным системам. Разработка плагина для Valgrind для подсчёта динамических характеристик исполнения программы.

9. Изучение существующих программных моделей

Обзор существующих симуляторов и виртуальных машин: QEMU, BOCHS, VirtualPC. Сходства и различия.

10. Модели производительности

Потактовые модели процессора и ЭВМ. Разработка моделей на ЯВУ. Аналитические модели производительности процессоров с последовательным и внеочередным исполнением команд.

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций. Требуется учебная аудитория, оснащенная мультимедийным оборудованием (проектором) и учебной доской.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Дэвид Хэррис, Сара Хэррис. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. ДМК Пресс. ISBN 978-5-97060-450-2
2. Эндрю Таненбаум. Архитектура компьютера. // 5-е изд. СПб.: «Питер», 2006.
3. James E. Smith, Ravi Nair. Virtual Machines — Versatile Platforms for Systems and Processes. Elsevier 2005. ISBN 978-1-55860-910-5.

Дополнительная литература

1. Binary translation / Richard L. Sites, Anton Chernoff, Matthew B. Kirk et al. // Communications of the ACM Vol. 36, № 2. Pp. 69–81. 1993.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Bellard, Fabrice. QEMU, a fast and portable dynamic translator // FREENIX Track: 2005 USENIX Annual Technical Conference. 2005. 2.
http://www.usenix.org/publications/library/proceedings/usenix05/tech/freenix/full_papers/bellard/bellard.pdf
3. Shwartsman S., Mihoka D. How Bochs Works Under the Hood. 2nd edition // Тех. отч. 22 стр. 2012.
4.
<http://bochs.sourceforge.net/How%20the%20Bochs%20works%20under%20the%20hood%202nd%20edition.pdf>
5. The Sniper Multi-Core Simulator, https://snipersim.org/w/The_Sniper_Multi-Core_Simulator

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Посещение лекций и самостоятельная работа с литературой. Самостоятельная работа включает в себя: чтение и конспектирование рекомендованной литературы, просмотр интернет-ресурсов по тематике курса, подготовку к дифференцированному зачету.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Радиотехника и компьютерные технологии Физтех-школа Радиотехники и Компьютерных Технологий кафедра микропроцессорных технологий в интеллектуальных системах управления
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	И.В. Петушков, ассистент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Симуляция компьютерных архитектур» обучающийся должен:

знать:

- разработки, тестирования, верификации аппаратного обеспечения ЭВМ и исследования работы ЭВМ;
- основные понятия и классификационные признаки, используемые в научной и промышленной среде для описания процессов симуляции, эмуляции, моделирования, понимать сходства и различия между ними;
- общий цикл создания новой аппаратной системы и вовлечённость симуляции на всех стадиях этого процесса;
- различия в подходах создания моделей процессоров и периферийных устройств, функциональных и потаковых моделей;
- задачи обеспечения высокой производительности и корректности реализации моделей устройств.

уметь:

- пользоваться своими знаниями для решения прикладных, технологических задач проектирования и реализации программных моделей;
- принимать правильные решения о структуре создаваемой модели, исходя из её предназначения;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- работать с документацией к аппаратным средствам, уметь извлекать из неё информацию, релевантную проблемам моделирования;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- работать на современном оборудовании с использованием современных инструментов и технологий программирования.

владеть:

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы и использования информации из баз знаний в Интернет;
- культурой постановки и проектирования задач по разработке программного обеспечения;
- навыками использования современных инструментов программирования.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Перечень заданий для самостоятельной работы:

1. Функциональная модель компьютера с архитектурой RISC-V с набором тестов на соответствие архитектурной документации.
2. Функциональная модель компьютера с архитектурой RISC-V с бинарной трансляцией и набором тестов на соответствие архитектурной документации уровня пользователя (курсовая работа повышенной сложности).
3. Простейшая потактовая модель конвейера RISC-V на ЯВУ с набором тестов на соответствие архитектурной документации.
4. Генератор RISC-подобной системы команд фиксированной длины с набором требований в машинно-читаемом формате.
5. Генератор тестов для архитектуры RISC-V с использованием

За каждое задание студент получает оценку в соответствии с таблицей критерия оценивания.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов для сдачи дифференцированного зачета:

1. Функциональные модели: назначение, общие свойства, скорость работы, ограничения в точности.
2. Потактовые модели: назначение, общие свойства, скорость работы, ограничения в точности.
3. Причины создания гибридных систем ко-симуляции. Возможность интеграции потактовой модели в функциональную.
4. Симуляторы уровня приложения. Отличия от полноплатформенных моделей. Уровень моделирования системных вызовов операционной системы. Сходства и различия с системами динамической бинарной инструментации.
5. Сравнение моделей, основанных на интерпретации и на двоичной трансляции: сложность реализации, скорость работы, сценарии, при которых интерпретация выгоднее трансляции.
6. Шаблоновая трансляция кода как разновидность бинарной трансляции. Условия применения. Сравнение с оптимизирующей бинарной трансляцией и интерпретаторами.
7. Соотношения скоростей работы реальных и виртуальных систем.
8. Квота исполнения в многопроцессорных моделях. Опасности при излишне большом значении квоты. Детерминированное моделирование многопроцессорных систем. Источники недетерминизма при работе параллельных симуляторов.

9. Средства динамической двоичной инструментации программ. Подходы с инструментацией бинарного кода и промежуточного представления и их сравнение.
10. Оптимизация моделирования исполнения кода в интерпретаторах. Кеширование результатов декодирования, исполнение линейных участков, связывание линейных участков. Шитый код и особенности его реализации на языке Си++.
11. Трансляция виртуальных адресов в физические. Оптимизация моделирования подсистемы памяти. Кеширование в TLB.
12. Аналитические модели производительности процессора с внеочередным исполнением команд.

Примеры билетов к дифференцированному зачету:

Билет №1

1. Функциональные модели: назначение, общие свойства, скорость работы, ограничения в точности.
2. Аналитические модели производительности процессора с внеочередным исполнением команд.

Билет № 2

1. Потактовые модели: назначение, общие свойства, скорость работы, ограничения в точности
2. Трансляция виртуальных адресов в физические. Оптимизация моделирования подсистемы памяти. Кеширование в TLB.

Критерии оценивания

Оценка отлично (10) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9) выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8) выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6) выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5) выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3) выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2) выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1) выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Дифференцированный зачет проводится в устной форме.

При проведении дифференцированного зачета обучающемуся предоставляется 20 минут на подготовку. Опрос обучающегося проводится в течение 30 минут.

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины.