

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Механико-математический факультет

**УТВЕРЖДАЮ**
декан механико-
математического факультета
/А.И.
Шафаревич /
« 14 » октября 2021г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

**Математические модели и методы физического синтеза сверхбольших
интегральных схем**

Уровень высшего образования:
магистратура

Направление подготовки / специальность:
02.04.01 "Математика и компьютерные науки" (3++)

Направленность (профиль)/специализация ОПОП:
Интеллектуальные системы. Теория и приложения

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
на заседании Ученого совета механико-математического факультета
(протокол № 7 от 14 октября 2021 года)

Москва 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 02.04.01 "Математика и компьютерные науки" утвержденного Приказом Министерства образования и науки РФ от 10 января 2018 г. N 13.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

дисциплина относится к блоку профессиональной подготовки вариативной части ОПОП ВО.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Для того чтобы изучение дисциплины было возможно, обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Знать: основные понятия, концепции, результаты и методы дискретной математики, теории вероятностей, математического анализа и линейной алгебры.

Уметь: решать стандартные задачи дискретной математики и теории вероятностей.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
Содержание и код компетенции.	Индикатор (показатель) достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с индикаторами достижения компетенций
ПК-6. Способен руководить проектами со стороны заказчика по созданию, поддержке и использованию системы искусственного интеллекта на основе нейросетевых моделей и методов	ПК-6.1. Руководит работами по оценке и выбору моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения поставленных задач со стороны заказчика ПК-6.2. Руководит созданием систем искусственного интеллекта на основе моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств со стороны заказчика	ПК-6.1. З-1. Знает функциональность современных инструментальных средств и систем программирования в области создания моделей искусственных нейронных сетей, в том числе сетей-трансформеров и сетей с автоматически генерируемой архитектурой ПК-6.1. У-1. Умеет проводить оценку и выбор моделей искусственных нейронных сетей и инструментальных средств для решения задач машинного обучения ПК-6.1. У-2. Умеет применять современные инструментальные методы и средства обучения моделей искусственных нейронных сетей ПК-6.2. З-1. Знает принципы построения систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей, методы и подходы к планированию и реализации проектов по созданию систем искусственного интеллекта ПК-6.2. У-1. Умеет руководить выполнением коллективной проектной деятельности для создания, поддержки и использования систем искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 128 часов. 48 часов составляет контактная работа с преподавателем – 32 часа занятий лекционного типа, 16 часов занятий семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 80 часов составляет самостоятельная работа учащегося.

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

5.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий (в строгом соответствии с учебным планом)

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Самостоятельная работа обучающегося, академические часы	Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости* (наименование)
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				
	Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа			
Тема 1. Задача разбиения интегральных схем и задача планирования кристалла интегральной схемы	8	4	20	32	опрос
Тема 2. Задача размещения элементов интегральной схемы	8	4	20	32	опрос
Тема 3. Задача трассировки соединений интегральной схемы.	8	4	20	32	опрос
Тема 4. Временная оптимизация интегральных схем.	8	4	20	32	опрос
Другие виды самостоятельной работы (отсутствуют)	—	—	—	—	—
Промежуточная аттестация (экзамен)	—	—	—	—	—
Итого	32	16	80	128	—

5.2. Содержание разделов (тем) дисциплины

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
1.	Тема 1. Задача разбиения интегральных схем и задача планирования кристалла интегральной схемы	<p>Основные определения и постановки задачи разбиения интегральной схемы. Алгоритм Кернигана-Лина и Федуччи-Матеуса. Основные подходы к иерархическому разбиению интегральной схемы. Алгоритм hMetis.</p> <p>Основные определения и постановки задач планирования кристалла интегральной схемы. Современные алгоритмы планирования кристалла интегральной схемы.</p>
2.	Тема 2. Задача размещения элементов интегральной схемы	<p>Основные определения и постановки задачи размещения интегральной схемы. Глобальное и детальное размещение. Алгоритмы глобального размещения: размещение на основе минимальных разрезов, аналитическое размещение, моделирование отжига. Современные алгоритмы глобального размещения. Алгоритмы детальное размещения и легализации размещения.</p>
3.	Тема 3. Задача трассировки соединений интегральной схемы.	<p>Основные определения и постановки задач трассировки соединений интегральной схемы. Глобальная и детальная трассировка. Основные подходы к представлению областей трассировки. Современные алгоритмы глобальной и детальной трассировки сигнальных сетей.</p> <p>Специализированная трассировка. Алгоритмы трассировки шин питания и земли. Алгоритмы построения дерева синхросигналов.</p>
	Тема 4. Временная оптимизация интегральных схем.	<p>Задача временного анализа интегральной схемы. Статический временной анализ. Бюджеты задержки и алгоритм распределения временного запаса.</p> <p>Интеграция задачи временной оптимизации интегральной схемы с задачей размещения. Подходы, основанные на анализе сетей интегральной схемы. Интеграция статического временного анализа с аналитическим размещением.</p>

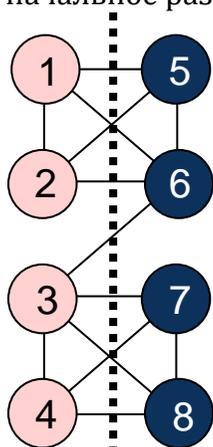
		<p>Интеграция задачи временной оптимизации интегральной схемы с задачей трассировки соединений. Алгоритм ограниченного радиуса и ограниченной стоимости. Компромисс Прима-Дейкстры. Алгоритмы минимизации задержки от истока к стоку.</p> <p>«Физический» синтез интегральных схем. Задача масштабирования вентиля и современные алгоритмы ее решения. Задача буферизации интегральной схемы. Алгоритмы перестройки сетей.</p>
--	--	--

6. Фонд оценочных средств (ФОС, оценочные и методические материалы) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, критерии и шкалы оценивания

Примеры заданий для практических занятий

- Для заданного графа G и выбранного начального разбиения выполнить один проход алгоритма Кернигана-Лина. Граф G и начальное разбиение (отмечено пунктирной линией) представлено на следующем рисунке:



- Пусть сеть G содержит 6 вершин A, B, C, D, E, F и соединения данной сети задаются следующими списками смежности:

$A: D$

$B: D$

$C: E$

6

$D: A, B, E$

$E: D, F$

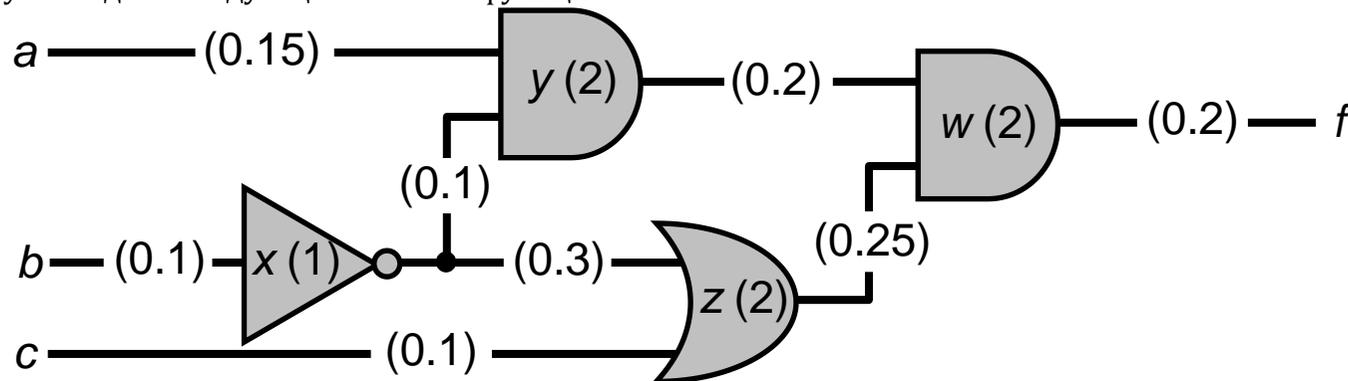
$F: E$

При этом вершины A, B, C, F имеют следующие фиксированные координаты:

$$A = (0,0), B = (1,0), C = (2,0), F = (1,1)$$

Для сети G решить задачу квадратичного размещения.

- Для канала, заданного последовательностями «0BDEBFG0D00» и «ACECEAFH0HG» решить задачу канальной трассировки при помощи алгоритма левого конца.
- Пусть задана следующая схема из функциональных элементов:



В вершинах схемы указаны задержки срабатывания элементов, а на ребрах в скобках указаны задержки соединений. Для указанной схемы решить задачу статического временного анализа.

- Дополнительные теоретические вопросы:
 - К каким классам графов применим алгоритм Кернигана-Лина? Оцените временную сложность одного прохода этого алгоритма.
 - Укажите основные недостатки размещений, которые получаются при помощи алгоритма квадратичного размещения. Опишите возможные подходы к их устранению.
 - Поясните, что такое конфликты при решении задачи канальной трассировки. Как они могут быть устранены?
 - Что такое ложный критический путь? Как он влияет на временной анализ схемы. Приведите пример ложного критического пути.
 - Привести примеры «физического» синтеза.

6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине, критерии и шкалы оценивания

Программа экзамена:

- 1) Маршрут проектирования СБИС
- 2) Задача разбиения электрической схемы. Примеры формулировок задачи разбиения. Классификация алгоритмов
- 3) Алгоритм Кернигана-Лина
- 4) Алгоритм Федуччи-Матеуса
- 5) Алгоритм иерархической декомпозиции.
- 6) hMeTiS.
- 7) Методы кластерного анализа. Алгоритм FOREL
- 8) Задача планирования кристалла. Классификация алгоритмов
- 9) Алгоритм динамического программирования для построения плана кристалла
- 10) Алгоритм расширения кластеров для построения плана кристалла
- 11) Алгоритм моделирования отжига для построения плана кристалла
- 12) Задача размещения модулей СБИС. Классификация алгоритмов
- 13) Метод ветвей и границ
- 14) Аналитическое размещение
- 15) Алгоритм моделирования отжига для решения задачи размещения модулей СБИС
- 16) Задачи детального размещения и легализации размещения. Примеры алгоритмов.
- 17) Кратчайшие пути в графе. Инкрементальный алгоритм поиска кратчайших путей.
- 18) Задача трассировки соединений. Классификация алгоритмов трассировки
- 19) Задача глобальной трассировки. MST и SMT дерева. Последовательный алгоритм построения дерева Штейнера
- 20) Волновая трассировка. Ограничения и модификации алгоритма.
- 21) Канальная трассировка. Алгоритм «левого конца»
- 22) Циклы вертикальных ограничений в канале. Методы устранения циклов.
- 23) Методы трассировки коммутаторов.
- 24) Задача трассировки шин питания и замели. Классификация алгоритмов.
- 25) Задача построения дерева синхросигналов. Классификация алгоритмов.
- 26) Задача статического временного анализа.
- 27) Бюджеты задержки и алгоритмы распределения временного запаса.
- 28) Временная оптимизация задачи трассировки. Методы, основанные на анализе сетей.
- 29) Интеграция статического временного анализа в алгоритмы размещения.
- 30) Временная оптимизация задачи трассировки. Алгоритм ограниченного радиуса и стоимости.

- 31) Компромисс Прима-Дейкстры.
- 32) Алгоритм временной оптимизации трассировки на основе минимизации задержки от источника до стока.
- 33) Задача масштабирования вентиляей.
- 34) Задача буферизации интегральной схемы.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине				
Оценка	2 (не зачтено)	3 (зачтено)	4 (зачтено)	5 (зачтено)
виды оценочных средств				
Знания <i>(виды оценочных средств: опрос, тесты)</i>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения <i>(виды оценочных средств: практические задания)</i>	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) <i>(виды оценочных средств: выполнение и защита курсовой работы, отчет по практике, отчет по НИР и т.п.)</i>	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

7. Ресурсное обеспечение:

7.1. Перечень основной и дополнительной литературы

Основная учебно-методическая литература

- 1) Andrew B. Kahng, Jens Lienig, Igor L. Markov, Jin Hu. VLSI Physical Design: From Graph Partitioning to Timing Closure, 2011
- 2) Г.Г.Казеннов, В.М.Щемелинин. Топологическое проектирование нерегулярных БИС. М., Высшая школа, 1990, 109с.

Дополнительная учебно-методическая литература

- 1) Ж.М. Рабаи, А. Чандракасан, Б. Николич Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования. – Вильямс, 2007.
- 2) T. Lengauer. Combinatorial algorithms for integrated circuit layout. Wiley, 1990, 694 p.
- 3) Naveed Sherwani. Algorithms for VLSI physical design automation. Kluwer academic publishers, 1995, 538p.
- 4) Introduction to Algorithms, T. Cormen, C. Lesierson, R. Rivest, The MIT Press, Second Printing, 1996.
- 5) Handbook of Algorithms for Physical design Automation, Edited by Charles J. Alpert Dinesh P. Mehta Sachin S. Sapatnekar, 2009.

7.2. Перечень лицензионного программного обеспечения, в том числе отечественного производства

нет

7.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- <https://dl.acm.org/>
- <https://ieeexplore.ieee.org/>

7.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- <http://vlsicad.eecs.umich.edu/BK/PDtools/>
- <http://vlsicad.eecs.umich.edu/BK/FGR/>
- <http://vlsicad.eecs.umich.edu/BK/parquet/>

Описание материально-технического обеспечения.

Для преподавания дисциплины требуется аудитория, оборудованная маркерной или меловой доской, экраном и проектором. Для выполнения практических домашних заданий студентами требуется компьютер с установленными на него пакетами автоматизации проектирования интегральных схем (в рамках курса предполагается использование только тех пакетов, которые предоставляются ВУЗ-ам без необходимости приобретать лицензию на их использование).

8. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в Общей характеристике ОПОП.

9. Разработчик (разработчики) программы.

к.ф.- м.н., доцент Шуплетов Михаил Сергеевич (shupletsov@cs.msu.ru)