

## Доклады семинара «Теория автоматов»

В 2023 году на научном семинаре «Теория автоматов» под руководством профессора Эльяра Эльдаровича Гасанова состоялось 18 докладов.

8 февраля 2023 года

### О порядках линейных автоматов

аспирант Муравьев Н. В.

Автоматы с совпадающим входным-выходным алфавитом образуют моноид относительно операции суперпозиции. Рассматривается задача определения порядка элемента в этом моноиде. В 2017 году было доказано, что данная задача алгоритмически неразрешима даже для обратимых конечных автоматов. В докладе будет показано, что она разрешима для класса линейных автоматов над конечными полями и полем рациональных чисел. Более того, будет доказана точная верхняя оценка порядка линейного автомата над этими полями, зависящая от размерности входного-выходного алфавита.

15 февраля 2023 года

### Сложность $GF(2)$ -операций над регулярными языками

аспирант Сажнева Е. А.

Классические операции в теории формальных языков — объединение и конкатенация. Цель доклада — исследование свойств операций над формальными языками, в определениях которых булева логика (дизъюнкция и конъюнкция) заменена на операции в двухэлементном поле  $GF(2)$  — исключающее ИЛИ и конъюнкцию. После такой замены появляются две новые операции —  $GF(2)$ -конкатенация и взятие  $GF(2)$ -обратного языка. В докладе будет показано, что класс регулярных языков замкнут относительно этих операций. Будут приведены алгоритмы построения ДКА, распознающего  $GF(2)$ -конкатенацию двух регулярных языков, и ДКА, распознающего  $GF(2)$ -обратный язык. Кроме этого будет показано, что все построения являются оптимальными по числу состояний, а также дан ответ на вопрос о сложности данных операций в случае различных размеров алфавитов. В заключение будет кратко рассказано о последних исследованиях в области: применение  $GF(2)$ -операций к другим классическим моделям, а также  $GF(2)$ -варианты некоторых операций над языками.

1 марта 2023 года

## Нерешенные проблемы в изучении микробиоты

проф. Медведев О. С.

Микробиота желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) насчитывает примерно  $10^{14}$  микробных клеток. В норме у взрослого человека более 90% бактерий данного биотопа относится к типам Firmicutes, Bacteroidetes, Actinobacteria и Proteobacteria, в то время как остальные типы представлены в незначительном количестве. На сегодня микробиота ЖКТ рассматривается как самостоятельный орган, который регулирует множество метаболических процессов в организме хозяина и по своей значимости не уступает любому другому жизненно важному органу. Значительная часть функций микробиоты осуществляется при помощи промежуточных и конечных продуктов обмена веществ. Возможность изучения микробного состава, его изменения при различных нозологических формах представляет несомненный практический интерес.

Разнообразие микробиоты — крайне важный параметр оценки: чем больше видов бактерий, тем выше компенсаторный потенциал всей микробиоты. При высоком видовом разнообразии, в случае исчезновения одного или нескольких видов бактерий вследствие приема антибиотиков или несбалансированного питания, их функции могут взять на себя другие бактерии, чего не отмечается при низком видовом разнообразии.

Молекулярно-генетические методы исследования являются перспективным направлением в изучении структуры сообществ микроорганизмов и особенностей их функционирования в норме и патологии. К таким методам относятся полимеразная цепная реакция (ПЦР), таргетное секвенирование, и полногеномное секвенирование. Функцию отдельных групп микроорганизмов отражают метаболиты, образуемые микробиотой при метаболизме углеводов, белков и жиров. К наиболее изученным метаболитам относят образуемые микробиотой газы (водород, метан, сероводород, углекислый газ), короткоцепочечные жирные кислоты (уксусная, пропионовая и масляная), а также триметиламин (ТМА) и его окисленный печенью продукт ТМАО. Важной и нерешенной задачей является создание математической модели, позволяющей прогнозировать микробный состав микробиоты по результатам анализа газовых и других метаболитов.

15 марта 2023 года

## **О характеристическом многочлене конфигурации паросочетаний графа и $LP$ -ориентациях многогранника паросочетаний**

аспирант Болотников А. И.

Для любой конфигурации гиперплоскостей можно построить частично упорядченное множество пересечений его гиперплоскостей. С использованием функции Мебиуса такого частично упорядченного множества можно далее определить характеристический многочлен конфигурации гиперплоскостей. С помощью характеристического многочлена конфигурации гиперплоскостей можно посчитать число регионов конфигурации. Данный результат использовался, в частности, в одном из доказательств теоремы Стенли о хроматическом многочлене графа и числе ациклических ориентаций графа.

Доклад посвящен свойствам конфигурации паросочетаний графа. В докладе будет построено взаимно-однозначное соответствие между регионами конфигурации паросочетаний и  $LP$ -ориентациями многогранника паросочетаний. Также будут рассказаны результаты о характеристическом многочлене конфигурации паросочетаний некоторых семейств графов.

29 марта 2023 года

## **Сложность задачи о существовании сюръективного гомоморфизма на рефлексивные циклы**

аспирант Корчагин Н. П.

Сюръективным гомоморфизмом графов называется сюръективное отображение вершин одного графа в вершины другого, которое сохраняет ребра. Задача о существовании сюръективного гомоморфизма на граф  $H$  — массовая задача, в которой по данному графу  $G$  требуется определить, существует ли сюръективный гомоморфизм из  $G$  на  $H$ . Сложность этой задачи долгое время оставалась неизвестной даже для очень простых графов  $H$ , таких как циклы: только недавно были получены результаты о сложности для рефлексивного цикла длины 4 и нерефлексивного цикла длины 6. В докладе будет описана сложность задачи для рефлексивных циклов длины  $n = 7, n > 8$ .

31 марта 2023 года

## **Булевы сети с единственной неподвижной точкой, одностокковые ориентации булева куба и правильные семейства функций**

ст.н.с. Галатенко А. В., в.н.с. Носов В. А. доц. Панкратьев А. Е.

Понятие правильного семейства функций было введено В. А. Носовым в 1998 году. Оказалось, что с помощью правильных семейств функций можно порождать параметрические множества квазигрупп большой мощности. В процессе дальнейших исследований удалось установить ряд критериев правильности семейства, построить значительное число содержательных примеров, получить утверждения о сложности задачи распознавания правильности. В 2020 году К. Д. Царегородцев заметил, что в булевом случае имеется естественным образом определенное взаимно однозначное соответствие между правильными семействами и одностокковыми ориентациями ребер булева куба; в процессе доказательства было найдено еще одно критериальное свойство — существование и единственность неподвижной точки у отображения, задаваемого правильным семейством, и всех его проекций. И одностокковые ориентации (Unique Sink Orientation, USO), и булевы сети с единственной неподвижной точкой являются известными математическими объектами, которым посвящено значительное число публикаций. В первой части доклада будет сделан обзор результатов по одностокковым ориентациям и булевым сетям с неподвижной точкой и показана связь этих результатов с правильными семействами; вторая часть посвящена анализу  $k$ -значного случая при  $k > 2$ .

12 апреля 2023 года

## **Метод чередования обучаемых параметров нейронной сети**

м.н.с. Хусаенов А. А.

В докладе представляется метод повышения качества обучения сверточных искусственных нейронных сетей (ИНС) за счет разделения параметров по их возможности расширения рецептивного поля. При обучении ResNet50 достигается увеличение точности за счет чередуемой остановки обучения в 4-х слоях, расширяющих рецептивное поле. Показано, что повышение обобщающей способности модели при использовании предложенного метода достигается за счет устранения избыточного вклада отдельных существенных (окклюзивных) элементов изображения при формировании карт признаков. В пользу указанных предположений приводятся результаты экспериментов в задаче transfer learning и

рассуждения относительно существования указанной проблемы. Демонстрируется существование подобных проблем и в прочих (не сверточных) архитектурах ИНС: например, в задаче выявления отклонений с применением автоассциативных ИНС.

19 апреля 2023 года

## **Сложность кванторной задачи удовлетворения ограничениям на предикатах, заданных с помощью предиката равенства**

ст.н.с. Жук Д. Н.

Кванторная задача удовлетворения ограничениям — это массовая задача, где на вход подаётся утверждение с кванторами, конъюнкциями и предикатами из некоторого множества допустимых предикатов, и нужно проверить верно ли это утверждение. Даже на конечных множествах сложность этой задачи для конкретного множества допустимых предикатов остаётся открытым вопросом, поэтому на бесконечных множествах мы пока рассматриваем только предикаты специального вида. В 2007 году была опубликована полная классификация сложности для множеств допустимых предикатов, которые задаются булевыми комбинациями равенств, но в ней была обнаружена ошибка и с тех пор вопрос о полной классификации оставался открытым. Спустя 15 лет мы получили полную классификацию, причем не только для кванторной задачи удовлетворения ограничениям, но и для всевозможных ограниченных альтернатив.

26 апреля 2023 года

## **Современные технологии создания чипов: от дизайна к оптической литографии**

ст.н.с. Родин С. Б.

Современный процесс создания чипа можно условно разделить на два этапа. На первом этапе создается дизайн вычислительного устройства. На втором этапе данный дизайн реализуется в «кремнии», в реальном физическом устройстве. Надо отметить, что дизайн создается поэтапно от абстрактного описания функционирования вычислительного устройства к схеме из функциональных элементов (или ячеек) и затем к соединению транзисторов.

Транзистор является многослойной структурой, а соединения транзисторов также размещаются на отдельном слое. В итоге дизайн передается на производство как несколько слоев, где каждый слой это множество «манхетонских» многоугольников.

Целью данного доклада является дать представление о том, как устроены современные полупроводниковые устройства и какие технологии применяются для их создания. В первой половине будет рассказано, как устроены транзисторы, как из них формируются ячейки, и в конечном счёте чип. Во второй половине будет рассказано какие технологии используются для производства, а также какие задачи необходимо решать в процессе, чтобы на выходе получилось устройство, задуманное дизайнерами.

20 сентября 2023 года

## **Правильные семейства дискретных функций: эквивалентные определения и свойства**

старший специалист-исследователь Царегородцев К. Д.

В последнее время растет интерес к использованию в криптографических (и теоретико-кодовых) приложениях некоммутативных и неассоциативных алгебраических структур (в частности, квазигрупп). Задание квазигруппы в виде «таблицы умножения» непрактично, поскольку размер требуемой для её хранения памяти растет крайне быстро при росте «длины» перемножаемых элементов. Одним из возможных вариантов обойти это ограничение является функциональное задание квазигрупповой операции, при котором координаты произведения  $(z_1, \dots, z_n)$  задаются функциями от координат сомножителей:

$$z_i = f_i(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n).$$

Для функционального задания квазигрупповых операций В. А. Носовым в 1999 году было введено понятие правильного семейства (булевых) функций. Исходное определение было расширено сначала на случай абелевых групп, а затем и на более общие алгебраические структуры. В докладе мы рассмотрим исходное определение понятия правильного семейства, некоторые примеры таких семейств, а также результаты, полученные в последние годы: альтернативные характеристики правильных семейств (с более «геометрических» точек зрения), некоторые их свойства (оценки на количество правильных семейств, результаты о конкретных классах правильных семейств).

4 октября 2023 года

## **Компьютерное моделирование логических процессов**

проф. Подколзин А. С.

В докладе рассматривается компьютерная система, моделирующая процесс решения задач человеком в таких областях, как математика, элементарная физика и химия, и ряде других. Особое внимание уделяется проблеме автоматического создания приемов решателя по теоремам предметной области.

25 октября 2023 года

## **Линейные автоматные системы и автоматы в лабиринтах**

н.с. Волков Н. Ю.

Линейная автоматная система — это набор автоматов, взаимодействующих между собой посредством среды, параметры которой задаются целыми числами. Автоматы могут знать значения этих чисел, в случае, если они (по модулю) не превосходят обзор автоматов  $R$ , и могут постепенно менять их значения. Также числовые параметры системы могут быть связаны между собой линейными уравнениями. Тип автоматной линейной системы определяется количеством и областью значения её числовых параметров, количеством автоматов и конкретным способом их взаимодействия, а также уравнениями, связывающими параметры системы между собой.

Эта модель возникла в результате обобщения ряда задач, где различные системы автоматов в лабиринтах, фактически, производили вычисления определённых функций. В эту же модель вписываются автоматы со счётчиками и другие абстрактные вычислители. Рассматриваются вопросы вычисления функций линейными автоматными системами, моделирования одной линейной автоматной системой другой.

Вводятся понятия манёвра линейной автоматной системы и функций манёвра. Вводятся обобщённые дискретные функции как пары счётнозначных функций. На таких функциях вводятся операции обобщённой суперпозиции и обобщённой рекурсии, а также оператор замыкания (замыкание Илхомова), порождённый этими операциями. Сформулирована (и доказана в ряде частных случаев) гипотеза о том, что класс функций, вычисляемых автоматными системами каждого конкретного типа, есть замыкание Илхомова класса функций манёвра, которые реализуют линейные автоматные системы данного типа.

Модель линейных автоматных систем позволяет рассматривать разные физические вычислители, описываемые одними же и теми же каноническими уравнениями, как разные геометрические образы одной и той же вычислительной системы. Также есть надежда, что озвученные в докладе подходы позволят найти новые структуры в иерархии классов вычислимых функций.

1 ноября 2023 года

## **Проблема полноты для функциональных систем полиномиальных и рациональных функций**

доц. Алексиадис Н. Ф.

В докладе рассматривается проблема полноты для функциональных систем полиномиальных и рациональных функций, а также задачи функционального характера, порожденные ее решением (изучение структуры замкнутых и предполных классов, задача о базисах, ...). Особое внимание уделяется алгоритмически неразрешимым проблемам.

8 ноября 2023 года

## **Оценки энергопотребления объемных схем**

м.н.с. Ефимов А. А.

Одним из разделов математической кибернетики является теория управляющих систем. Интенсивное развитие науки и вычислительной техники в XX веке породило одно из интереснейших направлений в этой области — задачу синтеза схем, вычисляющих булевы функции и операторы. Автор решает эту задачу, разрабатывая универсальные методы синтеза схем и получая фундаментальные нижние оценки сложности схем, показывающие оптимальность применяемых методов.

15 ноября 2023 года

## **Распознавание свойств графов автоматами**

аспирант Демидова А. А.

В докладе будут представлены результаты, связанные с обходом автоматами с красками связных плоских простых неориентированных графов с целью установления их свойств. В частности, будут рассмотрены алгоритмы, в соответствии с которыми автомат, осуществляющий обход, может определить, является ли граф деревом, псевдодеревом (графом, из которого достаточно удалить одно ребро для того, чтобы он стал деревом) и графом-кактусом (графом, в котором любое ребро принадлежит

не более чем одному циклу, а любые два цикла могут иметь не более одной общей вершины). Автомату доступно некоторое количество стираемых красок, которые он наносит на рёбра в течение обхода графа. Во время обхода автомат обладает частичной информацией о вершинах, которые он посещает, и инцидентных им рёбрах. В частности, в любой момент времени автомату известно, красил ли он только что некоторое ребро, благодаря чему он может обнаруживать циклы. Определены условия, при достижении которых автомат устанавливает, что граф не относится к рассматриваемым классам, а также признаки завершения обхода деревьев, псевдодеревьев и графов-кактусов.

29 ноября 2023 года

## **Нижняя оценка сложности задачи поиска ближайшего соседа на прямой с помощью клеточного автомата с локаторами**

проф. Гасанов Э. Э.

Рассматривается применение модели клеточного автомата с локаторами к задаче поиска ближайшего соседа на прямой. Модель клеточного автомата с локаторами подразумевает возможность каждой ячейке автомата передавать через эфир сигнал на сколь угодно большие расстояния. Ранее было показано, что такая возможность позволяет решать задачу поиска ближайшего соседа за логарифмическое время. В докладе обсуждается логарифмическая нижняя оценка для сложности этой задачи.

6 декабря 2023 года

## **О выразимости автоматов с операцией суперпозиции**

проф. Бабин Д. Н., инженер-исследователь Летуновский А. А.

Проблема выразимости автоматов относительно суперпозиции долгое время считалась неразрешимой. В 2015 году она получила дальнейшее развитие в работах А.А. Летуновского. Возник алгоритм проверки выразимости автоматов с безусловными переходами при наличии в выражающей системе автоматов «штрих Шеффера» и «задержки». Суперпозиция с такой добавкой получила название расширенной суперпозиции. Для такой суперпозиции множество всех автоматов распалось на две части: те автоматы, для которых есть алгоритм проверки выразимости, и те, для которых это неизвестно. К первой группе кроме автоматов с безусловными переходами были отнесены автоматы с простыми внутренними группами переходов и линейные автоматы. В настоящем докладе речь пойдёт о добавлении к этой группе автоматов с линейными переходами над произвольным конечным полем.

13 декабря 2023 года

## **Инструментарий разработки интегральных схем (ИРИС): назначение, возможности и дальнейшее развитие**

м.н.с. Калачев Г. В.

ИРИС представляет собой библиотеку на языке C++, позволяющую описывать сложные конфигурируемые аппаратные схемы в рамках автоматной модели. Для этого в библиотеке имеется набор макрокоманд, формирующих встроенный в C++ язык для описания схем. Также в библиотеке имеются возможности для тестирования, оценки сложности и генерации описания на языке Verilog для последующего синтеза. В первой части доклада будет показано, как выглядит описание простых аппаратных модулей на языке ИРИС, как происходит тестирование, а также некоторые другие возможности библиотеки ИРИС. Во второй части доклада будут приведены планы по развитию ИРИС и задачи которые предстоит решить в следующем году. В частности, будет рассказано про задачу автоматической расстановки и балансировки задержек на критических путях, а также задачи, связанные с автоматизацией тестирования.