

ФОНД СОДЕЙСТВИЯ
ИННОВАЦИЯМ



Разработка программного комплекса для решения оптимизационных задач на ОПТИЧЕСКОМ ВЫЧИСЛИТЕЛЕ

заявка № **C1-318151**

Сайгин Михаил Юрьевич, руководитель предприятия

Дата 11.09.2023

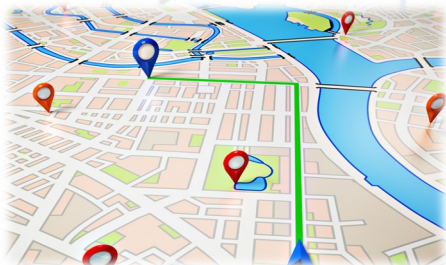
команда Центра квантовых технологий МГУ
имени М.В. Ломоносова

► Проблема/актуальность

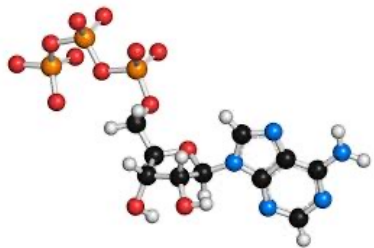
ФОНД СОДЕЙСТВИЯ
ИННОВАЦИЯМ



Оптимальное распределение ресурсов (странствующий коммивояжёр, плотная упаковка рюкзака)



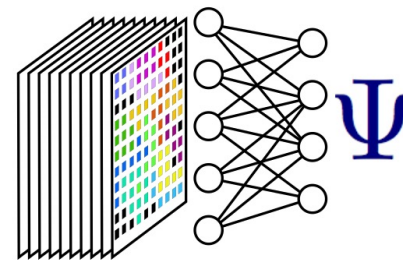
Разработка лекарств (расчет геометрической структуры белков)



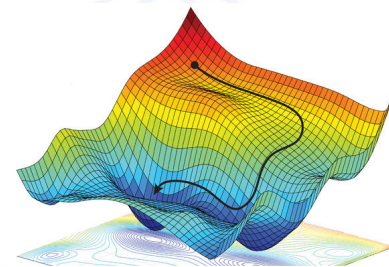
ОПТИМИЗАЦИЯ СЛОЖНЫХ ФУНКЦИЙ



Машинное обучение (тренировка нейросетей)



Глобальная оптимизация (инженерные задачи)



Проблема: на решение оптимизационных задач затрачивает много вычислительных мощностей и энергии – нужны специализированные оптимизаторы.



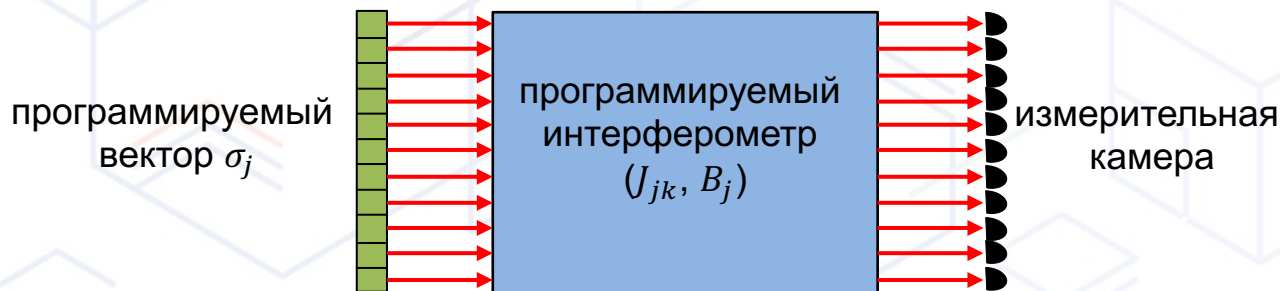
Часто оптимизационные задачи можно свести к нахождению минимума квадратичной функции (гамильтониана Изинга) вида:

$$I = - \sum_{i,j=1}^N J_{ij} \sigma_i \sigma_j - \sum_{i=1}^N B_i \sigma_i$$

параметры решаемой задачи: J_{ij} и B_i

Решение задачи соответствует набору σ_i , для которых I минимален, т.е. нужно найти минимум I относительно переменных этих переменных

В предлагаемом вычислителе значение I вычисляется оптически – ускорение расчетов достигается быстрым умножением матрицы на вектор, необходимым для расчетов I .



Быстрое и энергоэффективное умножение матриц на вектор в интерферометре

Описание технологии



программируемый
оптический
ускоритель

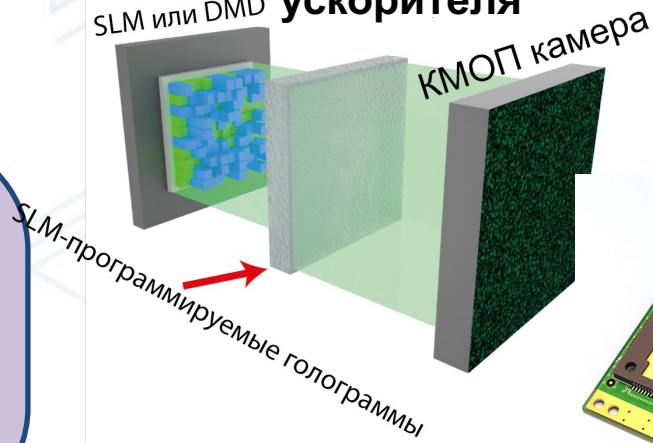
быстрое умножение
вектора на матрицу

CPU
оптимизационный
алгоритм

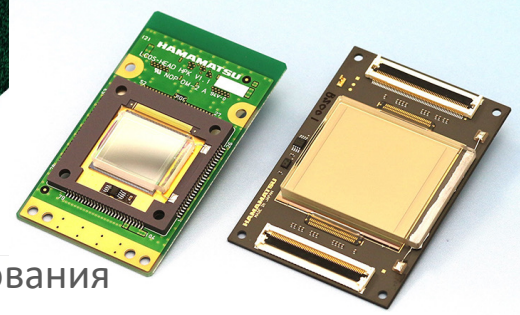
$\{\sigma_i\}$

$\{J_{ij}\}, \{B_i\}$

Упрощённая схема оптического ускорителя



Пространственный
модулятор
света (SLM)



возможность программирования
 $\sim 10^6 - 10^7$ оптических параметров

Умножение матриц размерности $\sim 1000 \times 1000$

Наша инновация — высокая степень программируемости за счёт использования фазовых голограмм, программируемых SLM

В рамках проекта «Старт-1» будет разработан программный интерфейс с SLM и камерой и выполнено компьютерное моделирование



- **Изобретение RU 2554615** «Способ генерации пространственных состояний Белла».
- **Изобретение RU 2734454** «N-канальный линейный преобразователь электромагнитных сигналов».

Лицензия на использования результатов изобретений будет получена/куплена у МГУ имени М.В. Ломоносова

На программный код и технические решения в разработанном ПАК будет оформлен РИД

В изобретении **RU 2723970** «N-канальный линейный преобразователь электромагнитных сигналов и способ осуществления многоканального линейного преобразования» предложена архитектура программируемых многоканальных интерферометров, которая устойчива к ошибкам, возникающим на этапе их изготовления. Было показано, что такие интерферометры можно перепрограммировать в произвольные преобразования, несмотря на внесённые ошибки.

В проекте подразумевается использование схожего принципа реализации оптического преобразователя.



LightOn (Франция)

Оптические проекции на большие случайные матрицы с размерностью до $\sim 10^6$

Ускорение линейной алгебры в машинном обучении

Коммерческий продукт:

облачный доступ и покупка оптических вычислителей



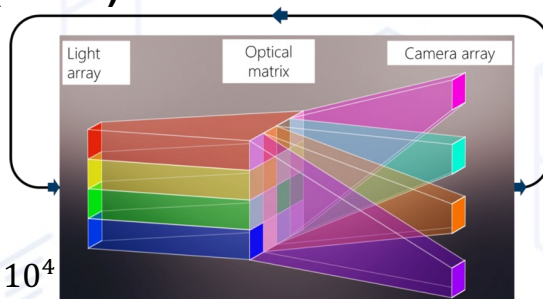
Microsoft (США)

Квадратная оптимизация дискретных и непрерывных переменных (QUMO)

Практическое преимущество

можно достичь для размерностей $\geq 10^4$

Продемонстрирован экспериментальный прототип, оперирующий 7 переменными: *K.P. Kalinin et al., arxiv:2304.12594 (2023)*



Наш проект

Эффективное решение вычислительных задач, сводящихся к оптимизации квадратичных функций бинарных переменных (QUBO)

Предлагается: прототип оптического процессора для задач, сводящихся к QUBO с ограниченным классом гамильтонианов, частичной программируемостью и числом бинарных переменных $10^4 - 10^5$

Отличия от конкурентов:

LightOn: принципиально другой тип решаемых задач с более простой экспериментальной реализацией

Microsoft: на современном этапе сложно масштабировать на большие задачи



Продукт:

Ускоритель для задач машинного обучения, ИИ и оптимизации для установки в стойку 19” для замены серверов с процессорами ИИ



Покупатели:

Компании, провайдеры облачных услуг: МТС, Клауд, Яндекс и другие для установки в ЦОД для предоставления услуг своим заказчикам.

Обсудили и получили поддержку МТС

Пользователи:

Непосредственно пользоваться и решать производственные задачи будут компании, использующие провайдеров облачных услуг. Решение задач в области логистики, финансов, обучения и использования моделей для машинного обучения (разработка программных библиотек для решения прикладных задач запланирована на следующих этапах проекта)

Оценка рынка* с 2023 по 2030 гг.:

В мире: Рынок ИИ =	208 - 1850 млрд. \$
Рынок процессоров ИИ =	28 - 165 млрд. \$
В РФ: Рынок ИИ =	170 - 520 млрд. P.
Рынок процессоров ИИ =	22 - 46 млрд. P.

Наш целевой рынок

*на основе данных Statista и интервью компаний



Целевая бизнес-модель: разработка и продажа полноценного ПАК, который будет включать ускоритель в форм-факторе для установки в стойки в ЦОД и набор ПО для решения типовых оптимизационных задач.

Проект Старт-1:

- Разработка программного интерфейса для работы с пространственными модуляторами света и камерой. Демонстрация работы ПО в базовом эксперименте.
- Создание пакета интеллектуальной собственности – ПО и техническое решение.
- Общение с потенциальными потребителями и инвесторами (уже общаемся с МТС и Инфотекс)

Далее:

Создание прототипа оптического вычислителя для установки в ЦОД. Пилотный проект по защите информации и информационной безопасности с компанией Инфотекс. Пилотный проект с МТС в задаче оптимизации трафика.

▶ Команда проекта

ФОНД СОДЕЙСТВИЯ
ИННОВАЦИЯМ



М.Ю. Сайгин

руководитель предприятия

к.ф.-м.н., с.н.с., руководитель
теор.отдела ЦКТ МГУ, автор >20
научных статей и >10 изобретений

С.С. Страупе

научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент, руководитель
направления квантовых вычислений
ЦКТ МГУ, руководитель группы
оптических квантовых вычислителей
РКЦ, автор >50 научных статей и >5
изобретений

продажи

К.Ю. Козлов

программист, специалист по ИИ

студент физического факультета
ВШЭ, специалист по машинному
обучению и ИИ

С.А. Флджян

**специалист по оптическим
вычислениям**

аспирант ФФ МГУ, автор 3 научных
статей и 3 изобретений, победитель
нескольких всероссийских конкурсов
студенческих работ

Г.И. Стручалин

**специалист по квантовой оптике и
квантовым вычислениям**

н.с. ЦКТ МГУ, автор >10 научных статей

О.И. Куприянова

**специалист по интеллектуальному
праву**

Организация и выполнение проектов,
связанных с интеллектуальной
собственностью.

Что будет сделано в НИОКР «Старт-1»

НИОКР – первая часть проекта по созданию оптического ускорителя для решения оптимизационных задач на основе дифракционных оптических элементов.

Цель работы: разработка программного комплекса, представляющего собой цифровую модель оптического ускорителя, а также библиотеки для программирования разрабатываемого прототипа аппаратного ускорителя.

Назначения программного комплекса:

- 1) программный комплекс позволит выполнять моделирование решения вычислительной задачи поиска основного состояния гамильтониана Изинга, основанное на математической модели программируемого преобразователя излучения на основе фазовых голограмм;
- 2) программный комплекс позволит выполнять, во-первых, управление пространственных модуляторов света, которые программируют оптический ускоритель, во-вторых, получать информацию с КМОП камер, которые считывают информацию о рассчитанном гамильтониане Изинга.

Назначение разработки в рамках «Старта-1»

- Детальное исследование с целью поиска достижимых вычислительных характеристик оптических ускорителей с учётом экспериментальных особенностей, например, зависимость точности найденных решений от сложности задачи.
- Симуляция решения одной из практически значимых оптимизационных задач – например, задачи оптимизации инвестиционного портфеля или задачи поиска оптимального логистического маршрута.
- Разработка оптическая схема макета оптического ускорителя из доступных на рынке стандартных компонентов. Также будут созданы библиотеки для программирования пространственных модуляторов света и обработки сигналов с цифровых камер для использования полностью оптических ускорителей.
- В результате НИОКР будет создан комплекс программного обеспечения, который может использоваться как самостоятельный продукт – фреймворк и тестовая платформа для разработчиков прикладных алгоритмов для оптических ускорителей.

Заинтересованные организации

ПАО
«МТС»



АО
«ИНФОТЕКС»



Инвестиционная компания
«Континент Капитал»



Московский
Государственный
Университет
имени М.В. Ломоносова



Центр компетенций НТИ по
квантовым технологиям –
Центр квантовых технологий
МГУ имени М.В. Ломоносова

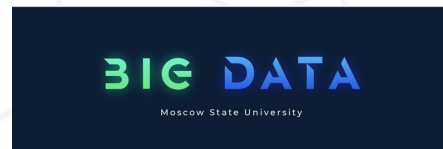


Физический факультет
МГУ имени М.В. Ломоносова



ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
МГУ имени М. В. ЛОМОНОСОВА

Центра компетенций НТИ по
технологиям хранения и
анализа больших данных
(МГУ имени М.В.
Ломоносова)



Письмо от организаций приложены к заявке

Календарный план и смета

№ этапа	Название этапа	Длительность этапа (мес.)	Стоимость (руб.)
1	<ol style="list-style-type: none">1. Разработка математической модели программируемого преобразователя излучения на основе фазовых голограмм.2. Программная реализация алгоритма оптимизации в пространстве параметров фазовой голограммы.3. Разработка программного интерфейса для взаимодействия с пространственными модуляторами света.4. Разработка программного интерфейса для взаимодействия с CMOS-камерами.	6	2 000 000
2	<ol style="list-style-type: none">1. Разработка программной библиотеки для моделирования вычислительной задачи поиска основного состояния гамильтониана Изинга на основе мат. модели из п. 1.1.2. Тестирование/сравнение алгоритмов оптимизации для моделирования работы оптического процессора.3. Моделирование решения задачи поиска основного состояния на оптическом процессоре.4. Демонстрация моделирования решения одной из прикладных оптимизационных задач.	6	2 000 000
Итого			4 000 000