

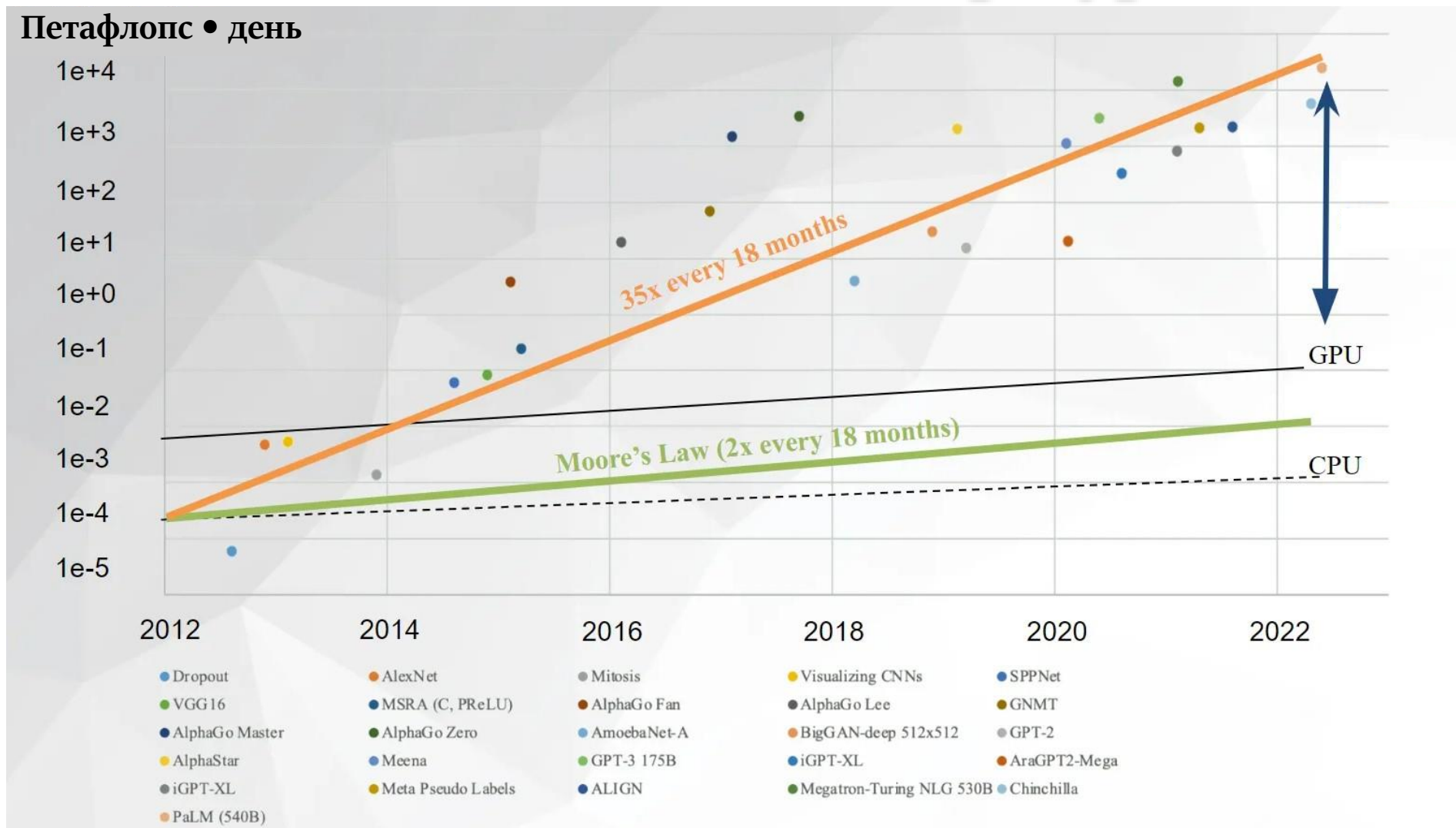


Оптические методы сжатия изображений в пространственно некогерентном свете для нейронных сетей

Белашов Е.Ю. Научный руководитель: к.ф.-м.н.с. Четвертухин А.В.

16 мая 2024

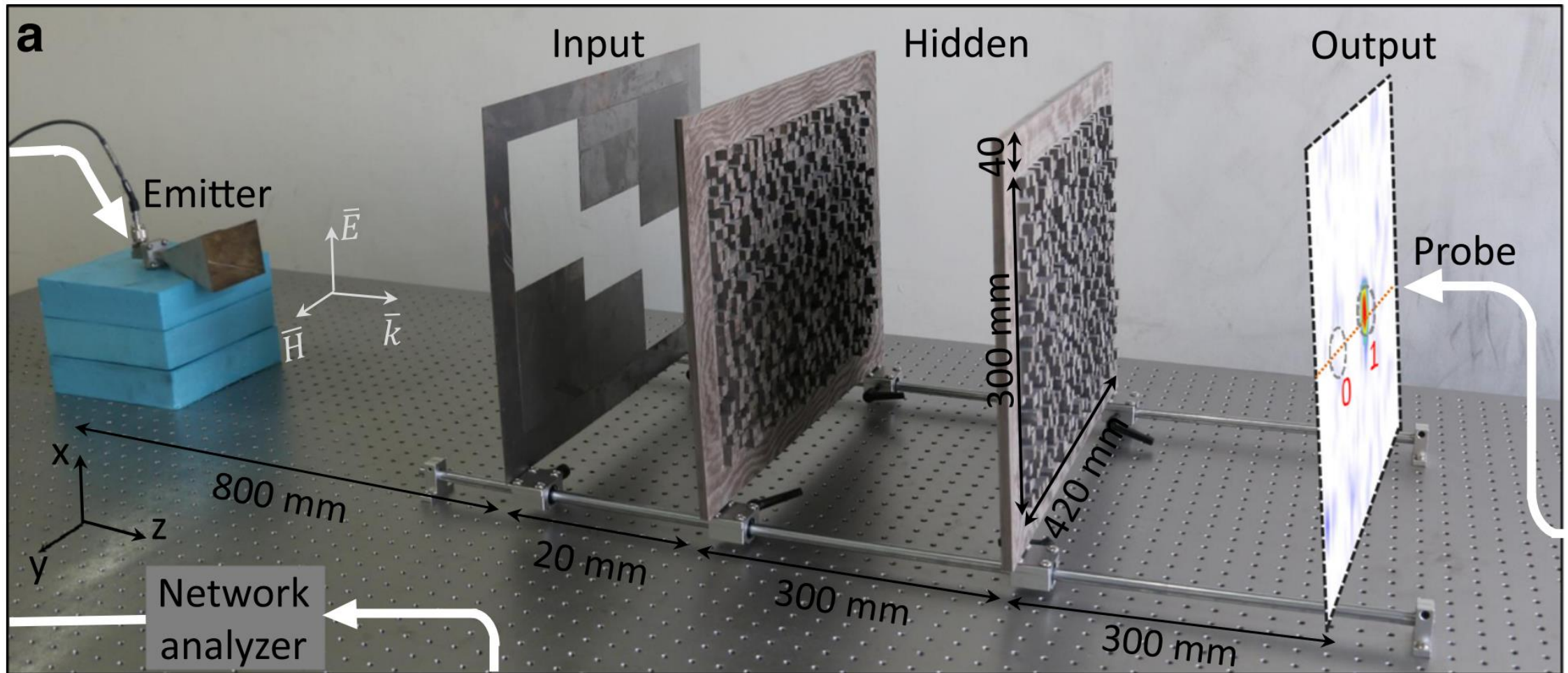
Несоответствие вычислительных ресурсов



Петафлопс • день – имеет размерность количества операций. Тренд количества операций с плавающей точкой, потребовавшихся для обучения различных моделей (оранжевый). В сравнение, трендом количества операций выдаваемых вычислителями за время обучения модели (чёрный).

Источник: OpenAI Ai and compute <https://openai.com/index/ai-and-compute/> 2024.

Дифракционные нейронные сети



Дифракционная нейронная сеть для излучения с длиной волны порядка 1 см. Обучена на выполнение простых логических операций (И ИЛИ НЕ).

Источник: Chao Qian, Xiao Lin, Xiaobin Lin, Jian Xu, Yang Sun, Erping Li, Baile Zhang, Hongsheng Chen, Performing optical logic operations by a diffractive neural network// Light: Science & Applications – 2020. – Vol. 9, №1.– p. 59.

Некогерентное излучения

Представление поля:

$$E(x, y, t) = A(x, y)e^{i\omega t}$$

$$I(x, y) = \frac{c}{4\pi} \langle |E(x, y, t)|^2 \rangle = \frac{c}{4\pi} \langle |A(x, y, t)|^2 \rangle$$

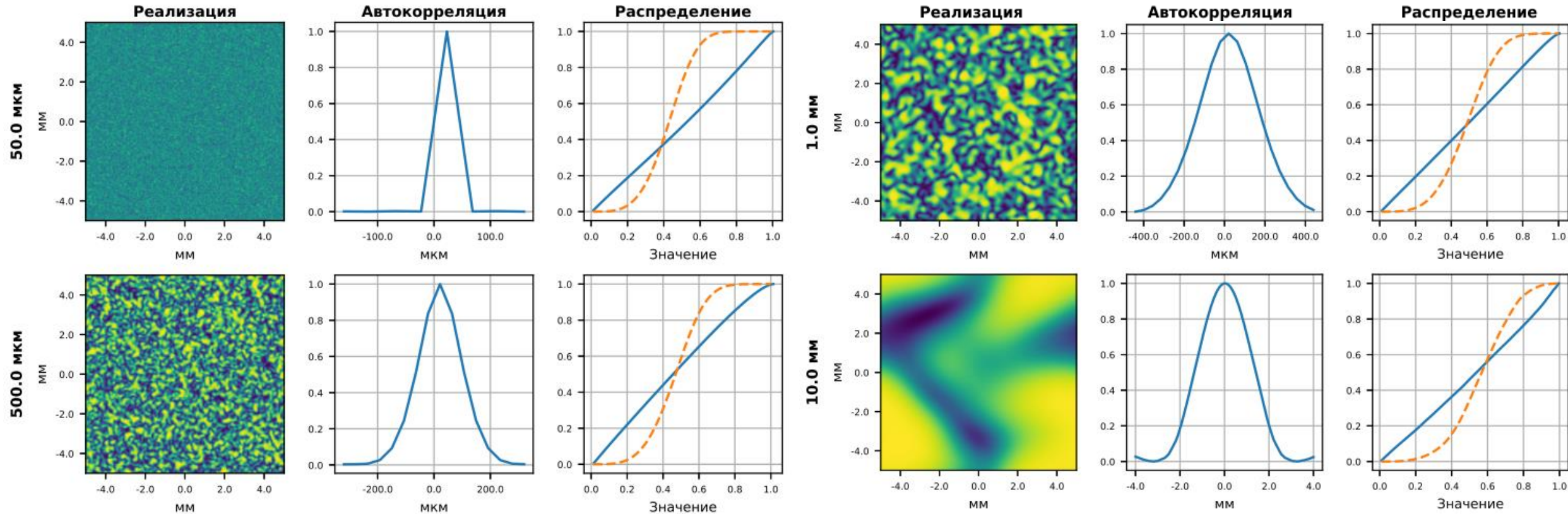
*Память, необходимая для хранения состояния поля в первом приближении
~10¹² ~3.6ТБайта.*

$$I(x, y) = \frac{c}{4\pi} \sum_n P_n |A_n(x, y)|^2$$

Постановка задачи

- *Анализ существующих методов численного расчёта распространения некогерентного света*
- *Создание математической модели оптоэлектронной системы, состоящей из параметризованной оптической системы и нейронной сети*
- *Синхронная оптимизация параметров оптической системы и нейронной сети*

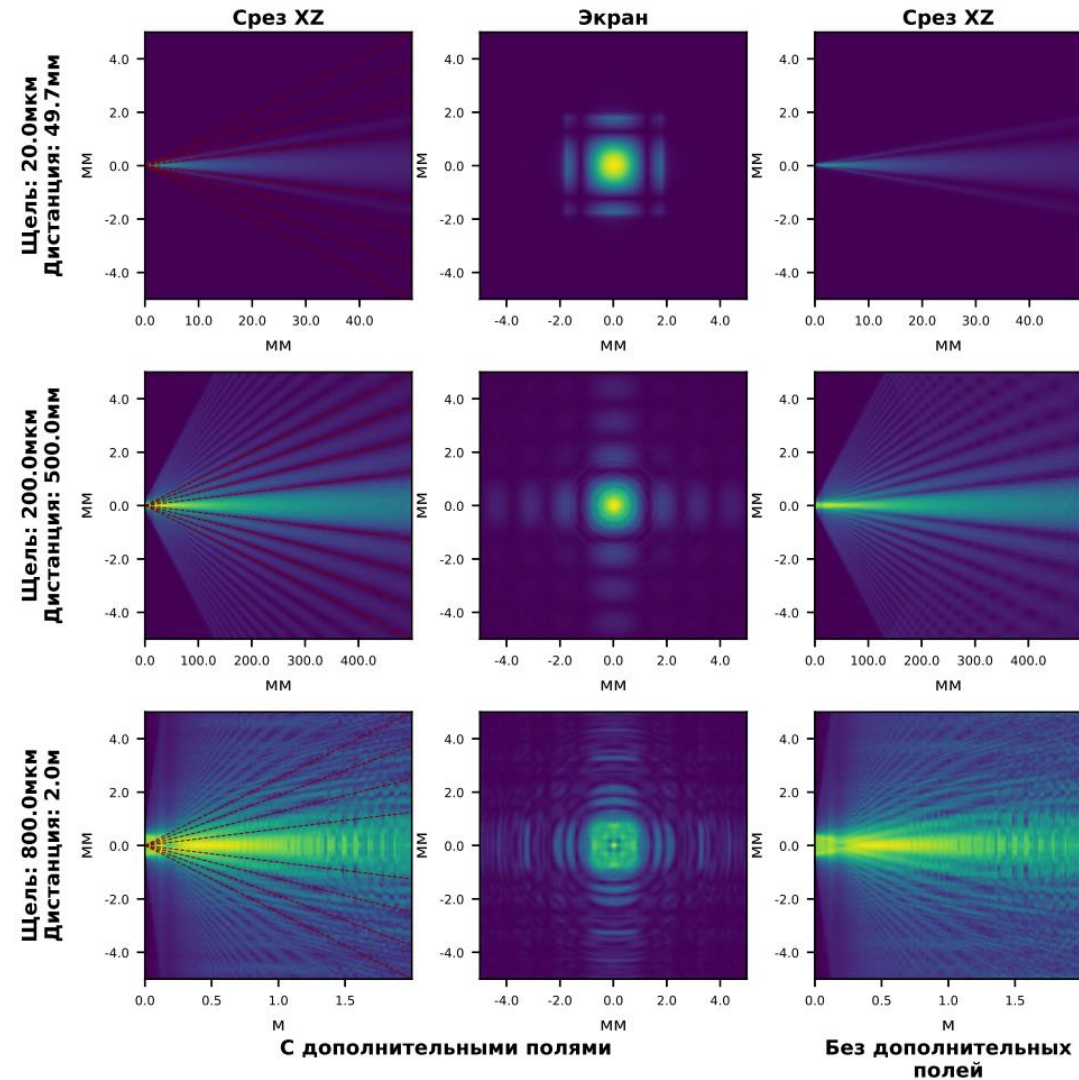
Генерация реализаций случайной фазы



Реализация случайного распределения фазы, корреляционная функция с зависимостью от расстояния между точками, распределение случайной фазы: оранжевый – до нормализации, синий – после. Левая подпись строк – пространственная когерентность.

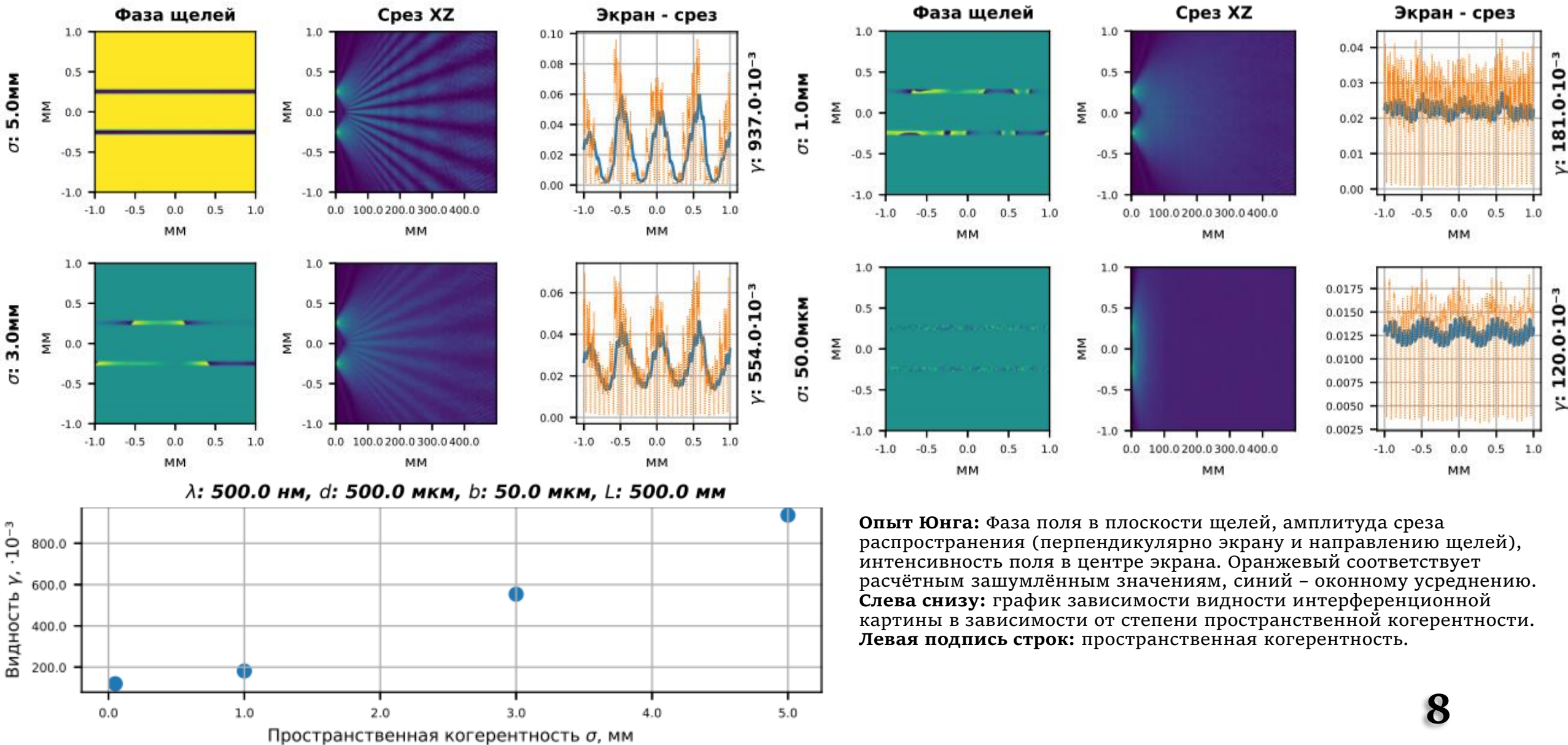
Расчёты в когерентном свете

- **Распространение**
Метод углового спектра
- **Фазовые и амплитудные маски**
Достаточно тонкие, чтобы моделировать поле поточечно
- **Линза**
Фазовая маска с заданной в каждой точке дополнительной фазовой задержкой

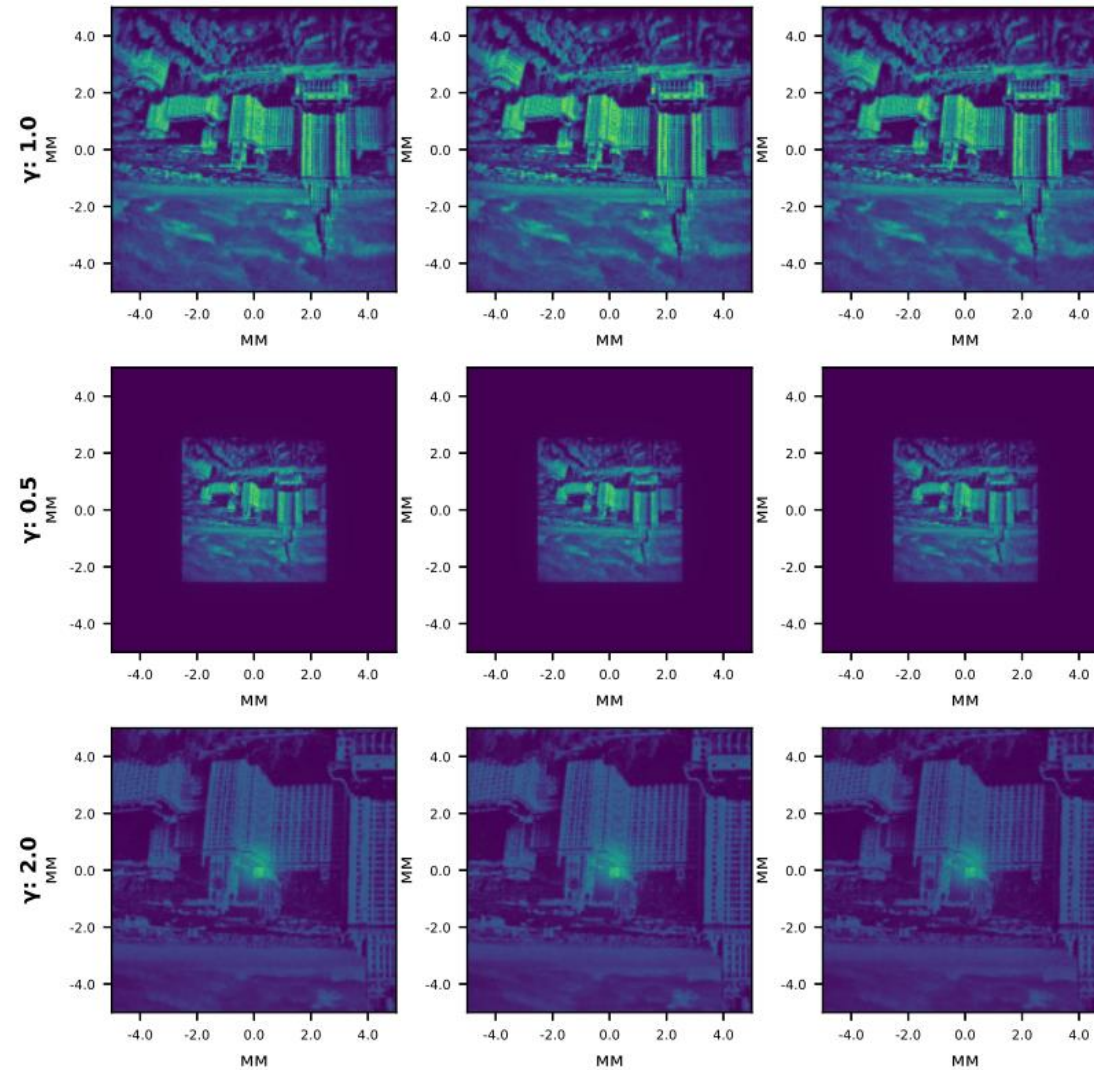


Тест модели когерентного распространения на дифракции света на щели. Первый столбец – срез распространения, второй – амплитуда на экране, третий – срез распространения без модификации алгоритма дополнительными полями.

Валидация некогерентной модели

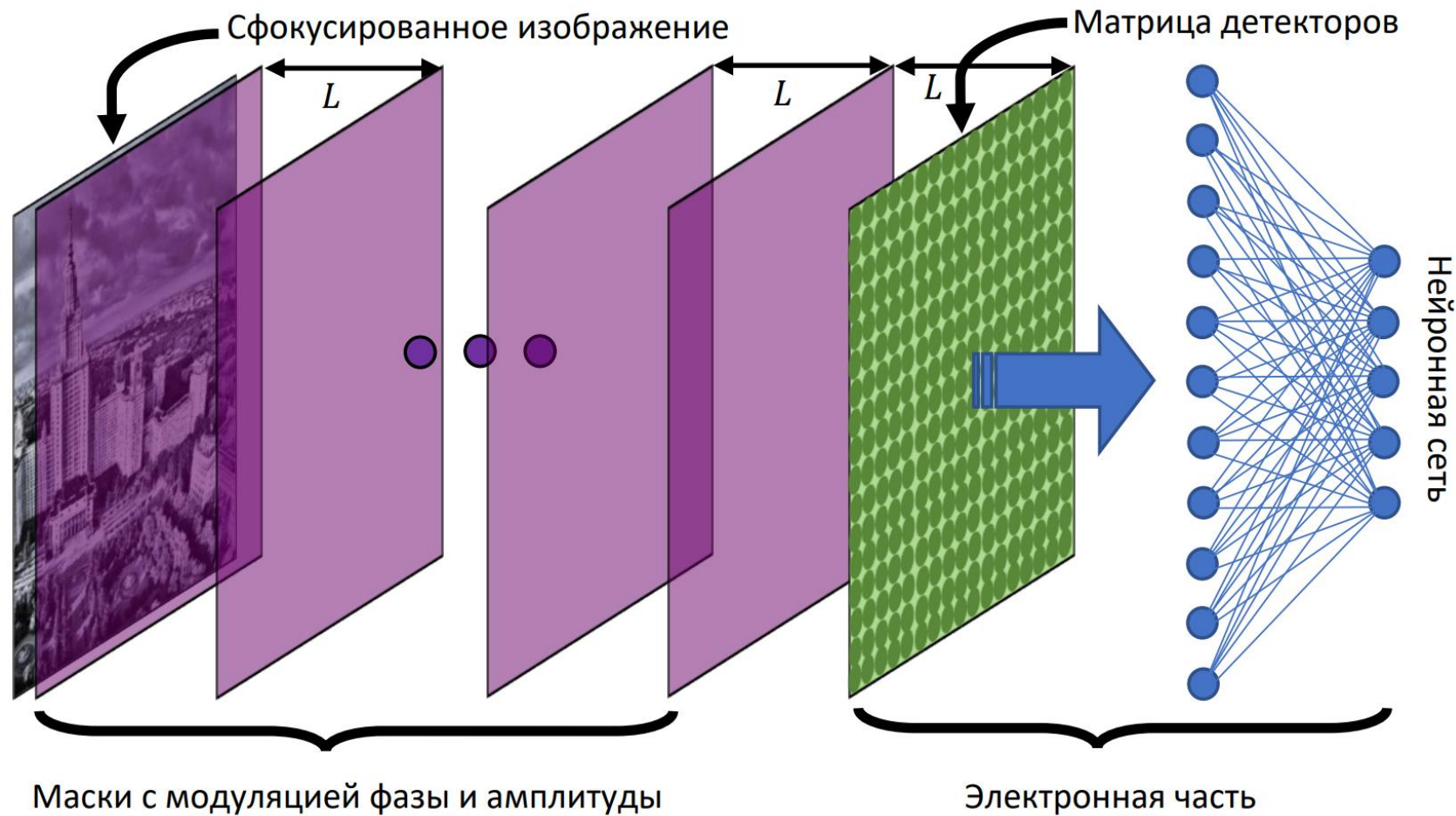


Валидация некогерентной модели



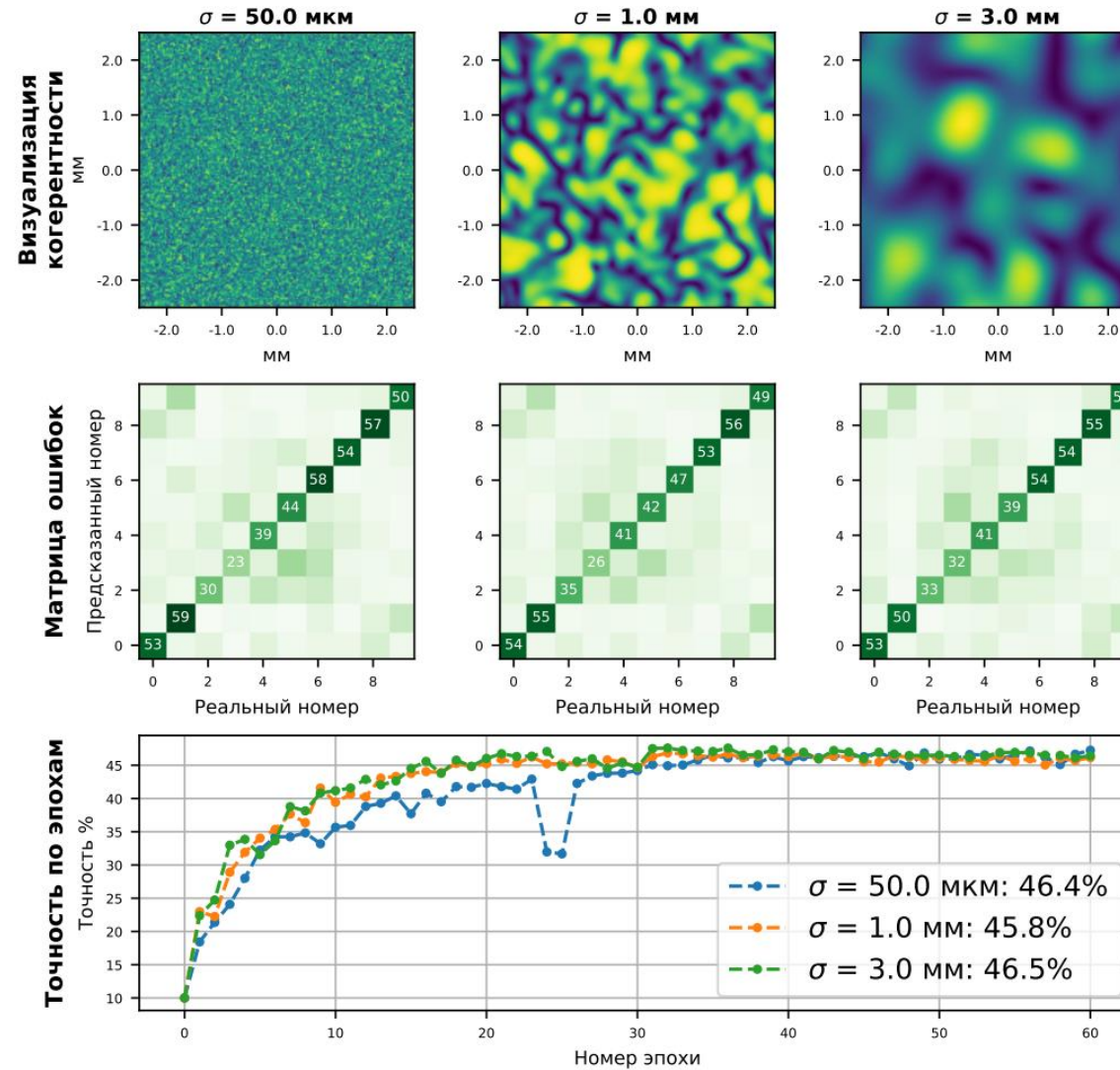
Построение изображение с помощью линзы в некогерентном свете. Левая подпись рядов – степень увеличения системы.

Гибридная нейронная сеть



- Длина волны – **500 нм**
- Размер области расчёта – **5 мм**
- Кол-во вычислительных узлов по одной оси – **300 шт**
- Размер неоднородности маски – **50 мкм**
- Расстояние между масками – **90.5 мм**
- Кол-во масок – **3 шт**
- Реализации усреднения – **7 шт**
- Пространственная функция детектора – **Гаусс**
- Кол-во детекторов – **24 на 24 шт**
- Характерный размер детектора – **83 мкм**

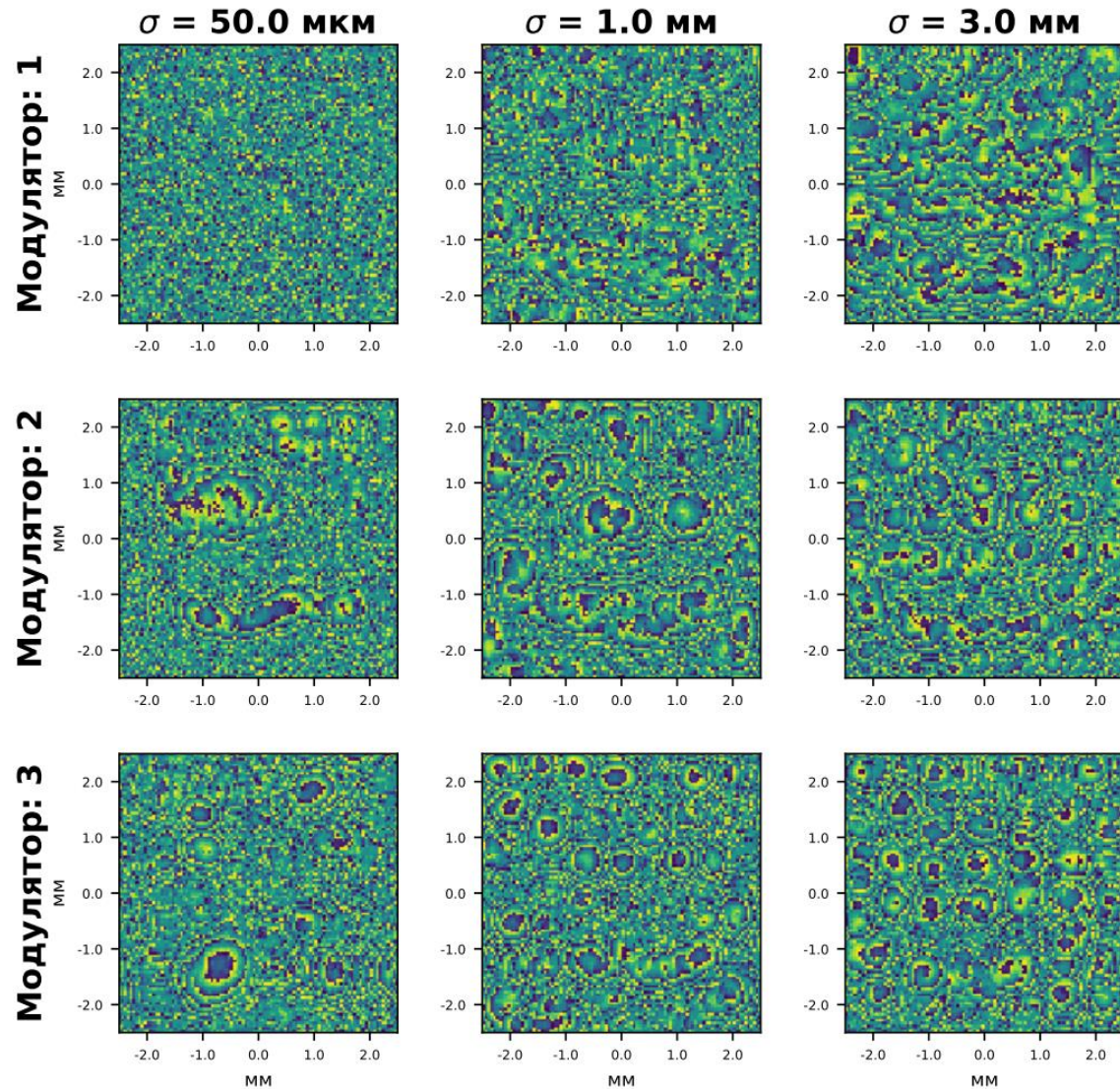
Результаты – точность классификации



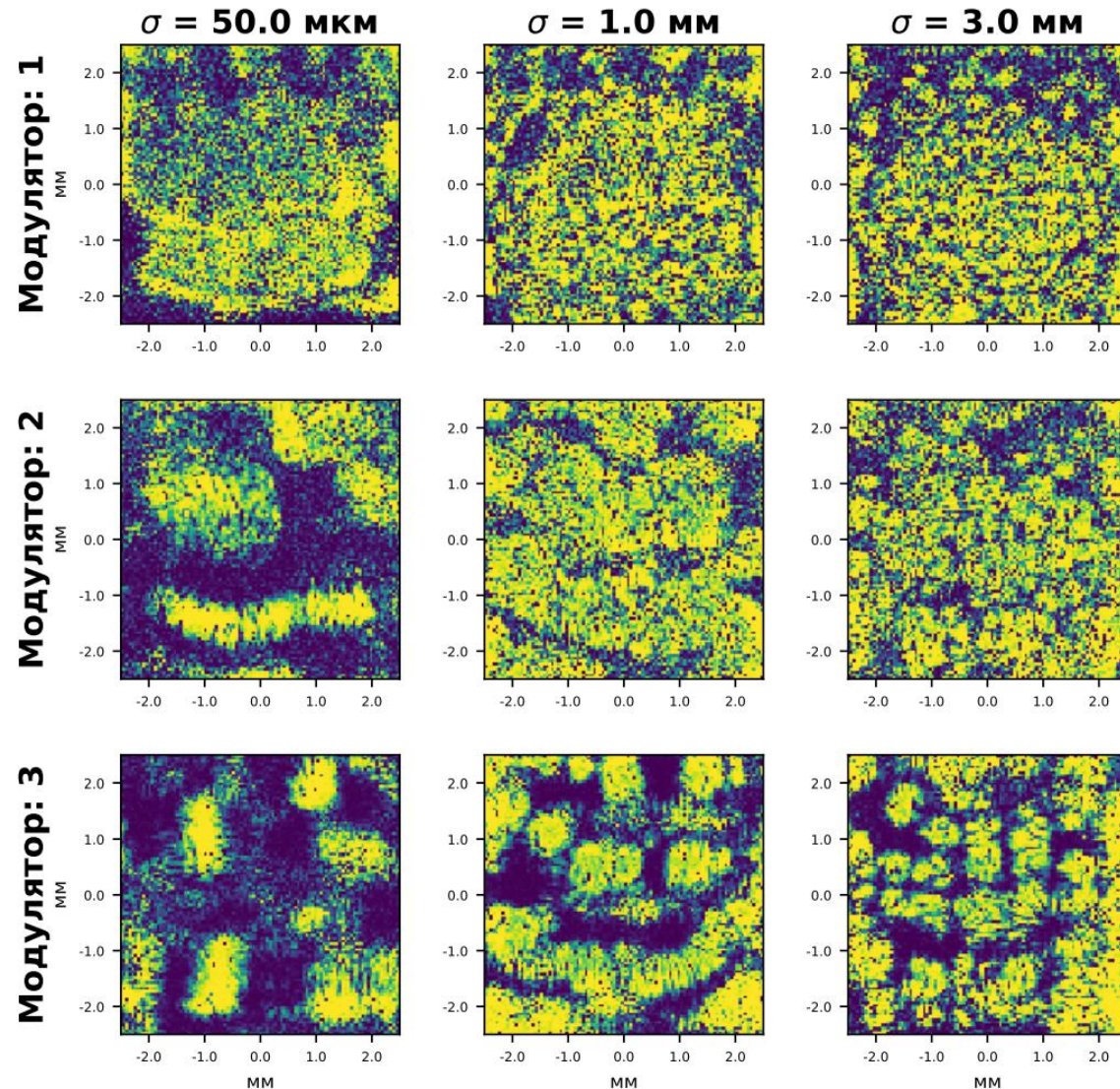
Основные результаты обучения классификации изображений CIFAR10. Первая строка – характерное распределение фазы, вторая – матрица ошибок, третья – зависимость точности распознавания от эпохи. Столбцы соответствуют разным моделям.

Результаты – фазовые и амплитудные маски

Фазовая задержка масок



Коэффициенты модуляции амплитуды масками



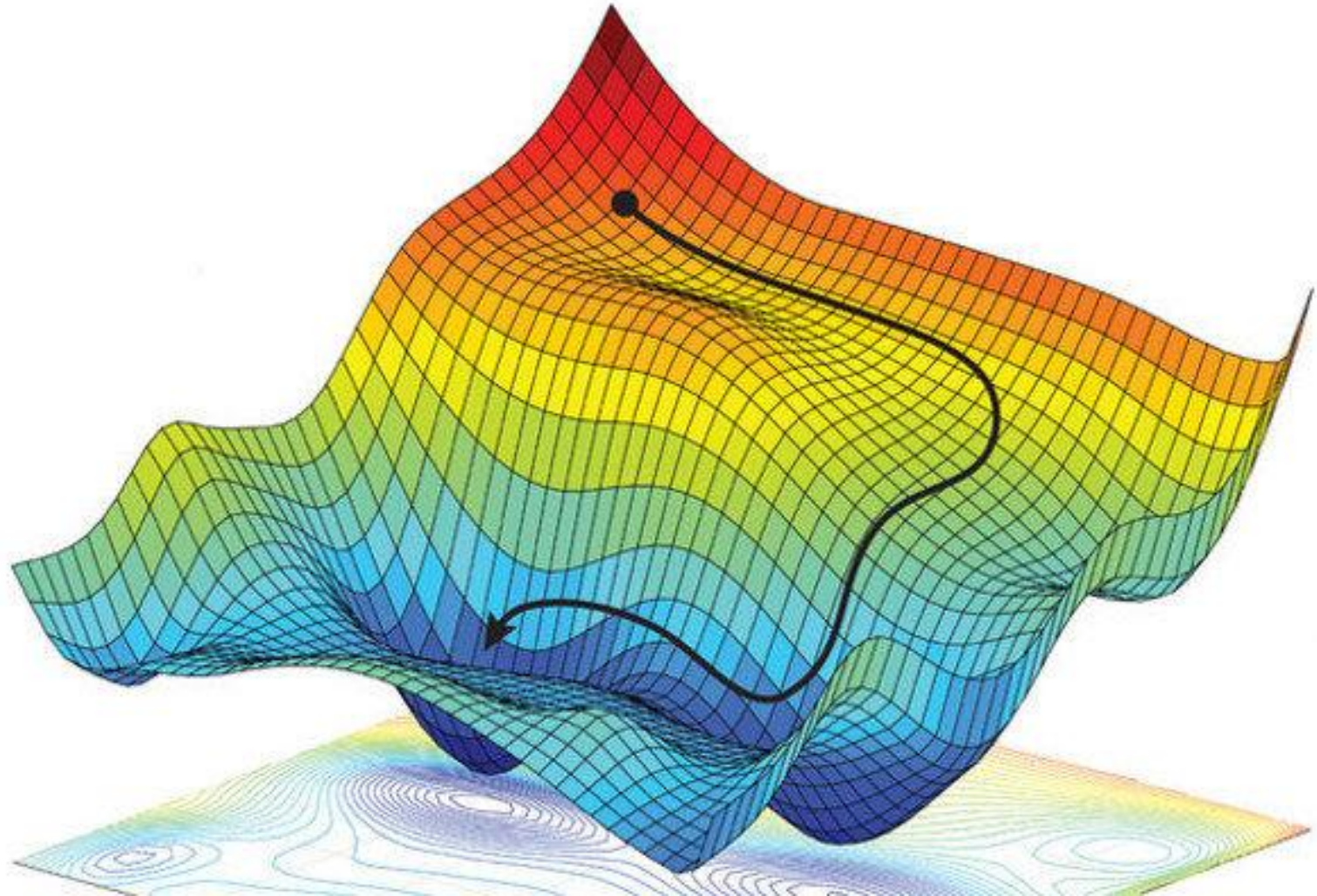
Выводы

- *Был реализован и проверен метод расчёта распространения некогерентного излучения через линейную систему.*
- *Была реализована и обучена гибридная оптоэлектронная модель для классификации изображений CIFAR10.*
- *Результаты показывают, что оптическая часть не старается фокусировать исходное изображение на детекторы, а выделяет некоторые характеристики.*

Нейронные сети и методы машинного обучения

$$\vec{y} = F(\vec{x}, \hat{w})$$

$$L(\vec{x}, \vec{y}_0, \hat{w})$$

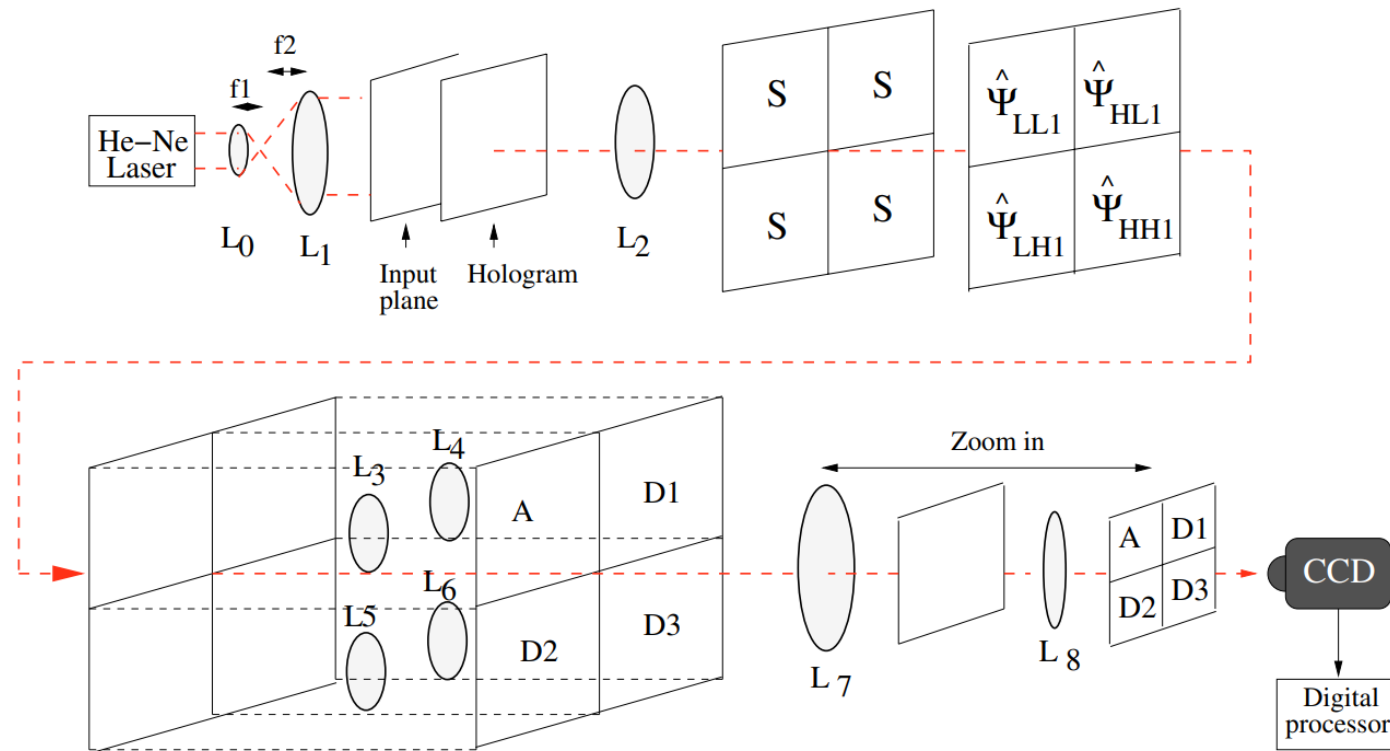


Alexander Amini, Ava Soleimany, Sertac Karaman, Daniela Rus, Spatial uncertainty sampling for end-to-end control // arXiv preprint arXiv:1805.04829 - 2018. - , .

Оптическое сжатие изображений



Пример свёртки с вейвлетами Хаара для оптического сжатия изображения



A Alkholidi, A Cottour, Ayman Alfalou, H Hamam, G Keryer, Realtime optical 2d wavelet transform based on the jpeg2000 standards // The European Physical Journal-Applied Physics – 2008. – Vol. 44, №3.– p. 261–272.

Приложение

