

ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»
ИРЭ им. В.А. Котельникова
Кафедра Радиотехнических систем

Искусственный интеллект: ультразвуковое зрение (как у летучей мыши) на базе нейросети для навигации роботов среди препятствий

Студент: Масалкова Наталья Владимировна

Группа: ЭР-13-16

Специальность: 11.03.01

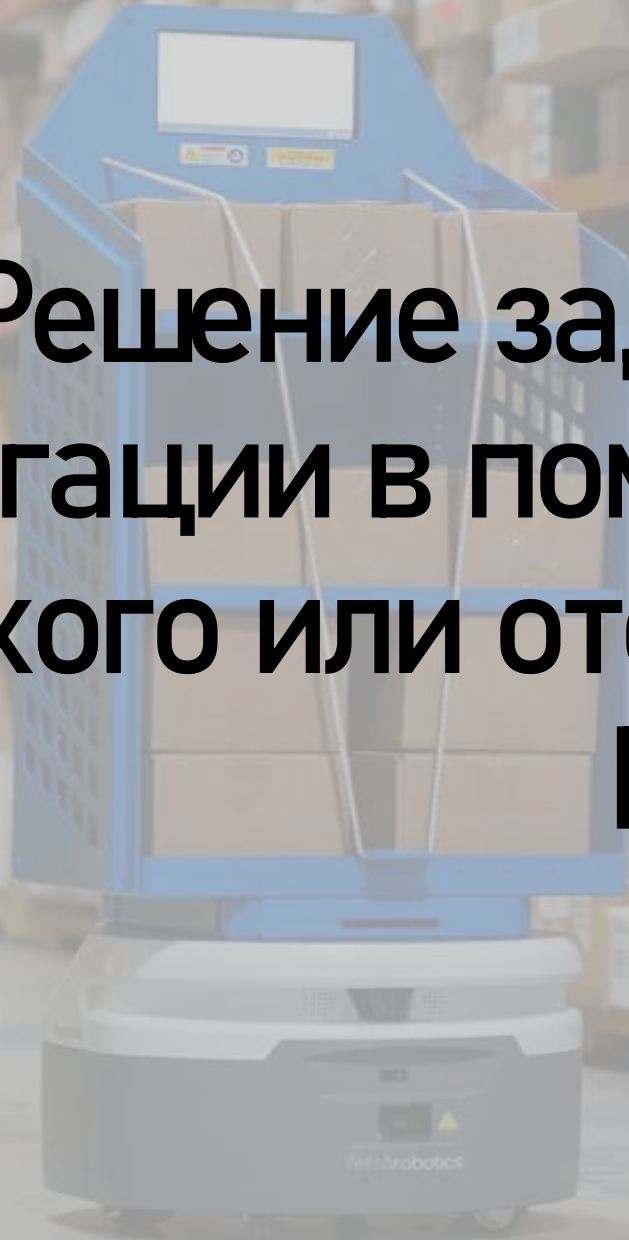
Радиотехника

Научный руководитель: Куликов Роман

Сергеевич

Москва, 2020

Решение задачи локальной навигации в помещении в условиях плохого или отсутствующего поля ГНСС



Проблема

Лидар

Высокая точность
позиционирования

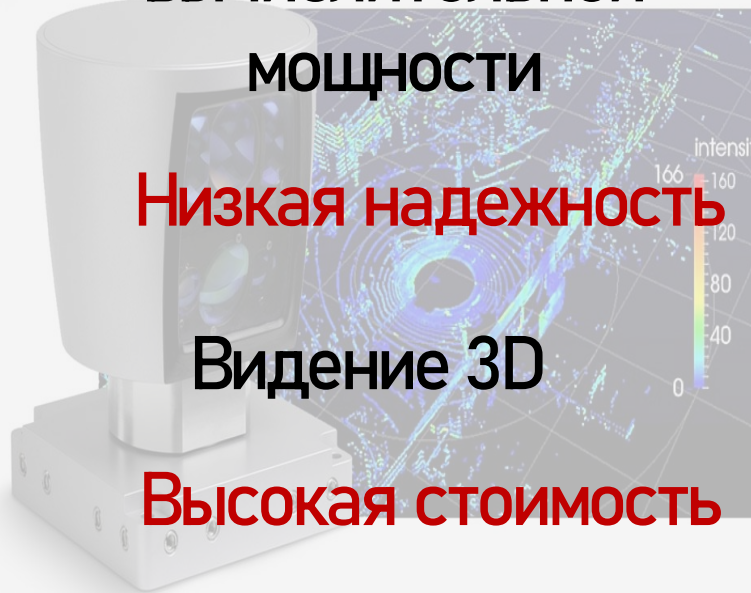
Умеренная погода

Среднее
требование
вычислительной
мощности

Низкая надежность

Видение 3D

Высокая стоимость



Машинное зрение

Высокая точность
позиционирования

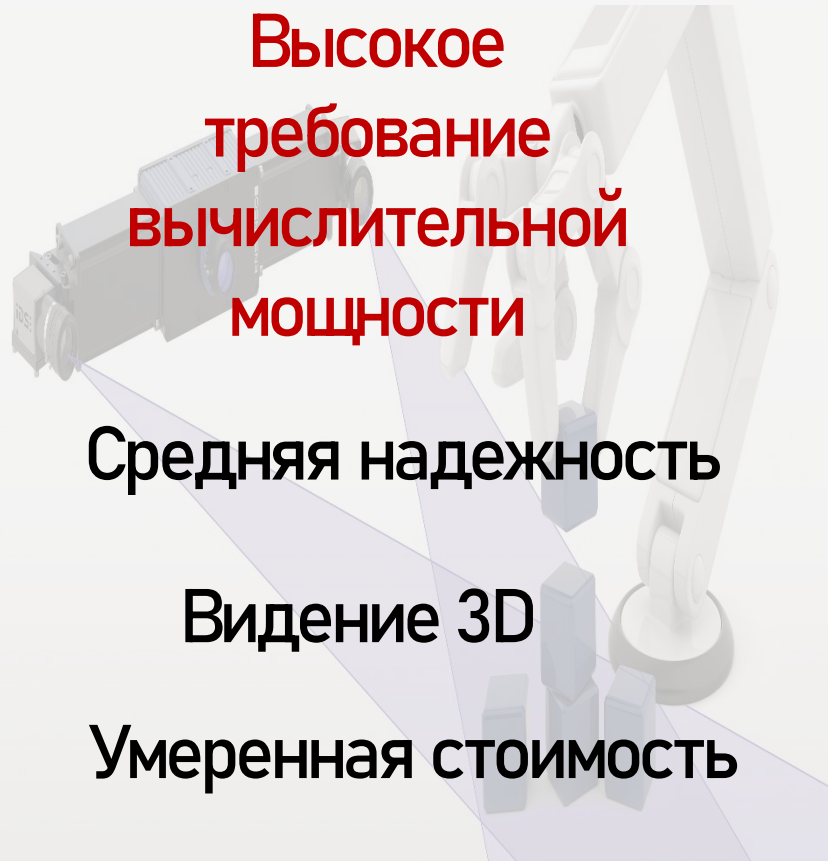
Умеренная погода

Высокое
требование
вычислительной
мощности

Средняя надежность

Видение 3D

Умеренная стоимость



Ультразвуковые дальномеры

Средняя точность
позиционирования

Любая погода

Низкое
требование
вычислительной
мощности

Высокая надежность

Определение только
расстояния

Низкая стоимость



Дешевые ультразвуковые дальномеры

+

Алгоритмы машинного обучения на базе
искусственной нейронной сети (ИНС)

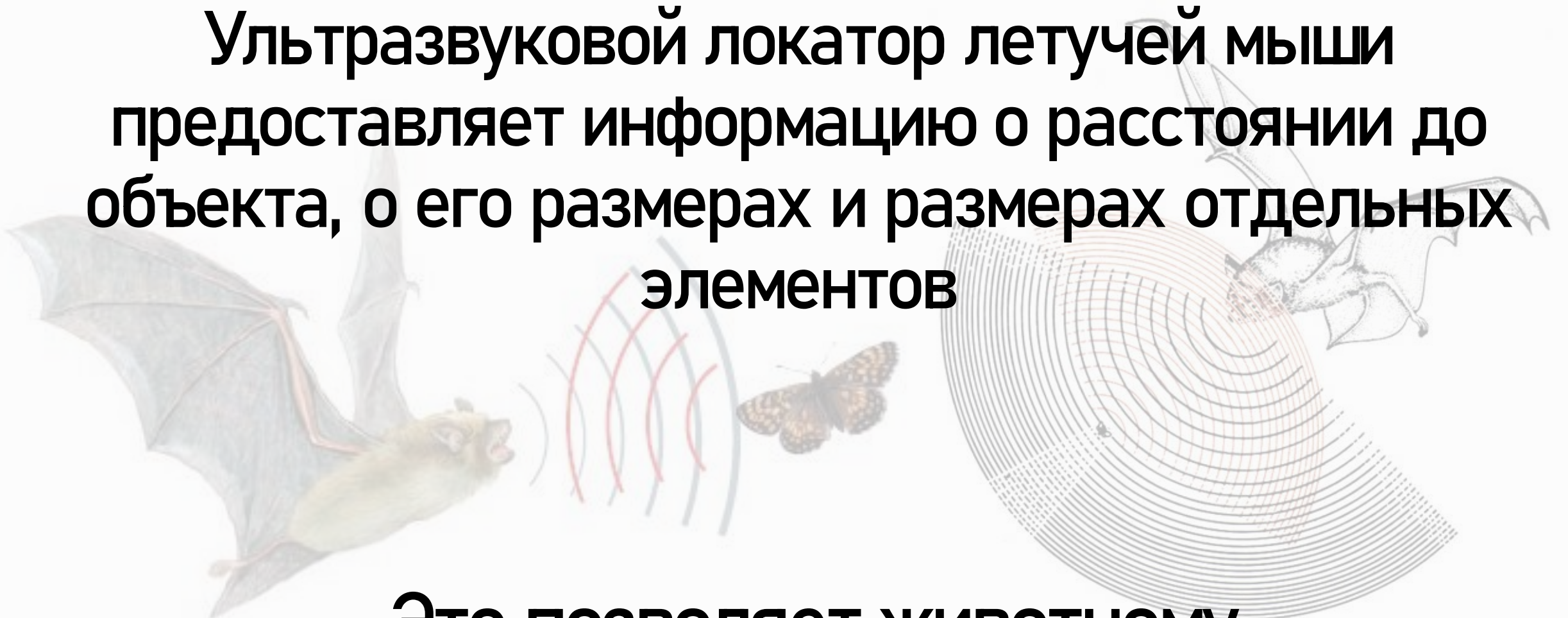
=

Видение 3D

Ультразвуковое зрение

Ультразвуковой локатор летучей мыши
предоставляет информацию о расстоянии до
объекта, о его размерах и размерах отдельных
элементов

Это позволяет животному
«ВИДЕТЬ» с помощью ультразвука



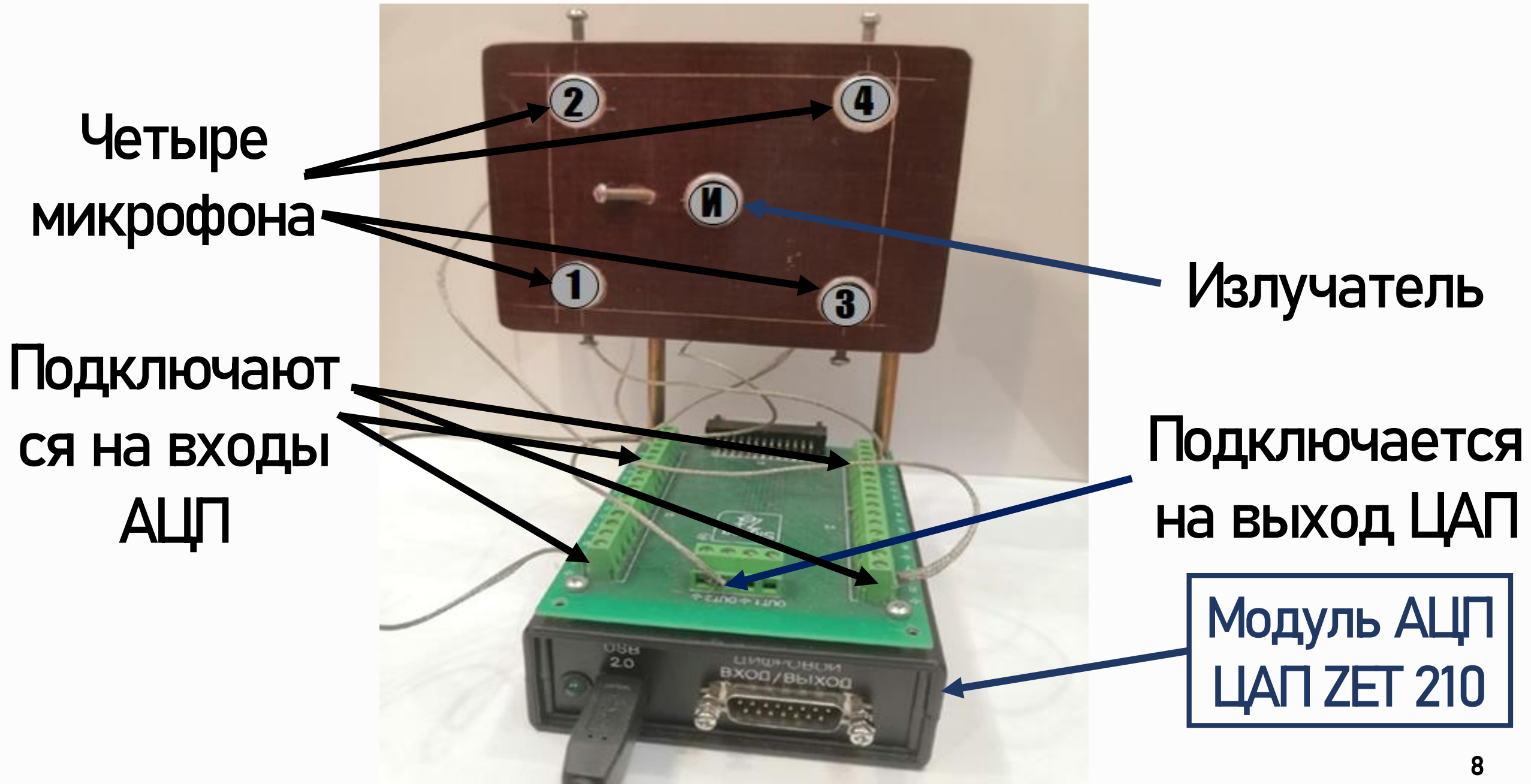
Цель работы

**Разработать ИНС, которая
имитирует ультразвуковой
локационный аппарат летучей
МЫШИ**

Задачи

- Собрать программно-аппаратную установку
- Собрать базу данных для обучения ИНС
- Подобрать архитектуру ИНС
- Оценить качество работы ИНС

Подсистема имитации ультразвукового зрения

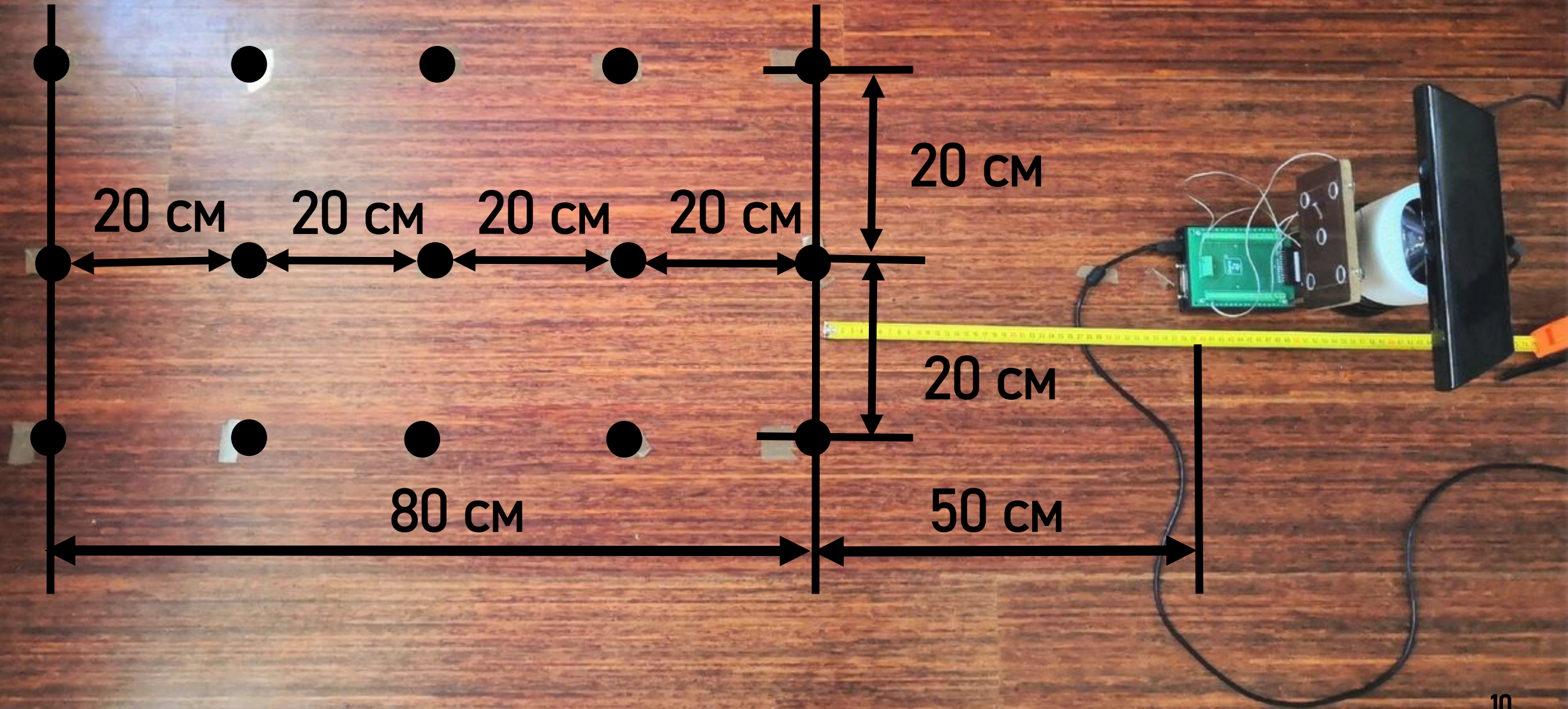


Оптическая подсистема Microsoft Kinect Xbox 360



Референсные карты глубин

Эксперимент



Методика эксперимента



Объект по
центру



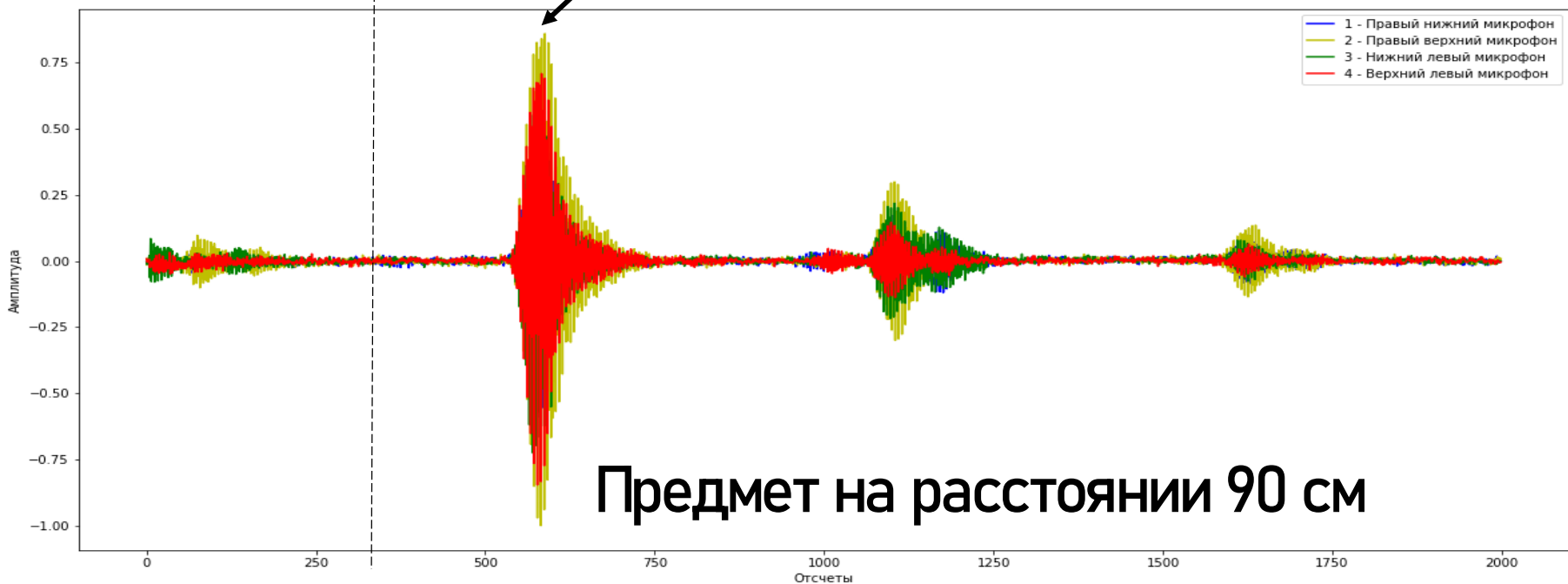
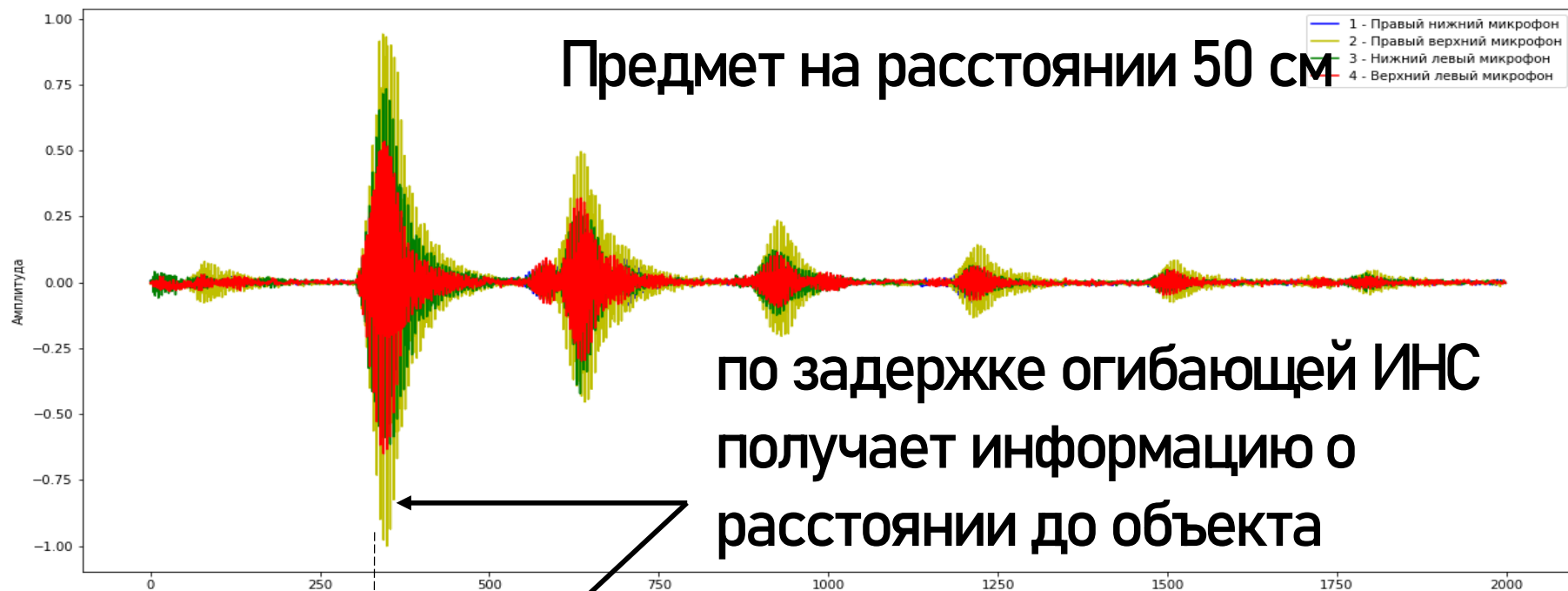
Объект слева



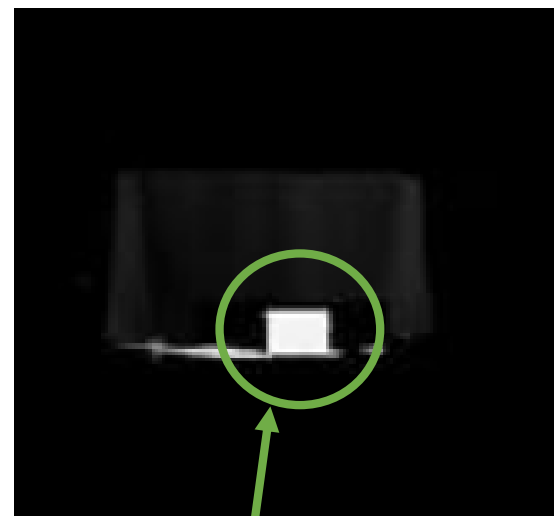
Два объекта

Имитация прохода в стене





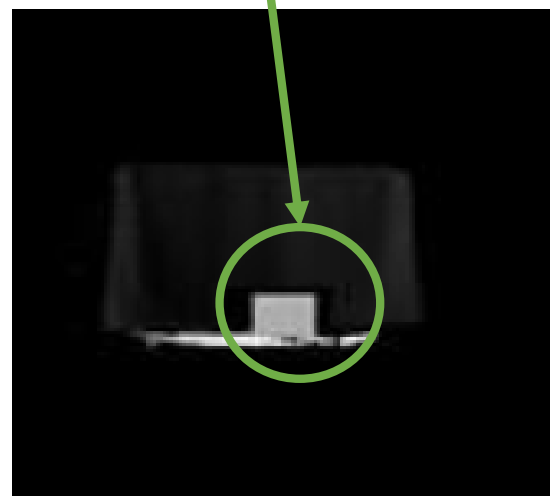
Референсная карта глубин

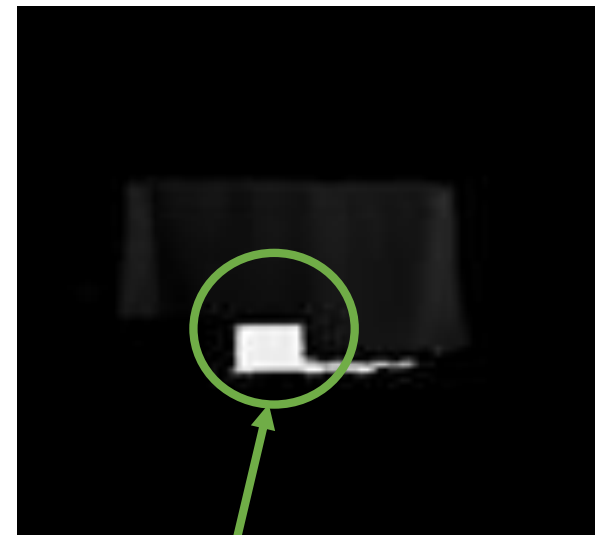
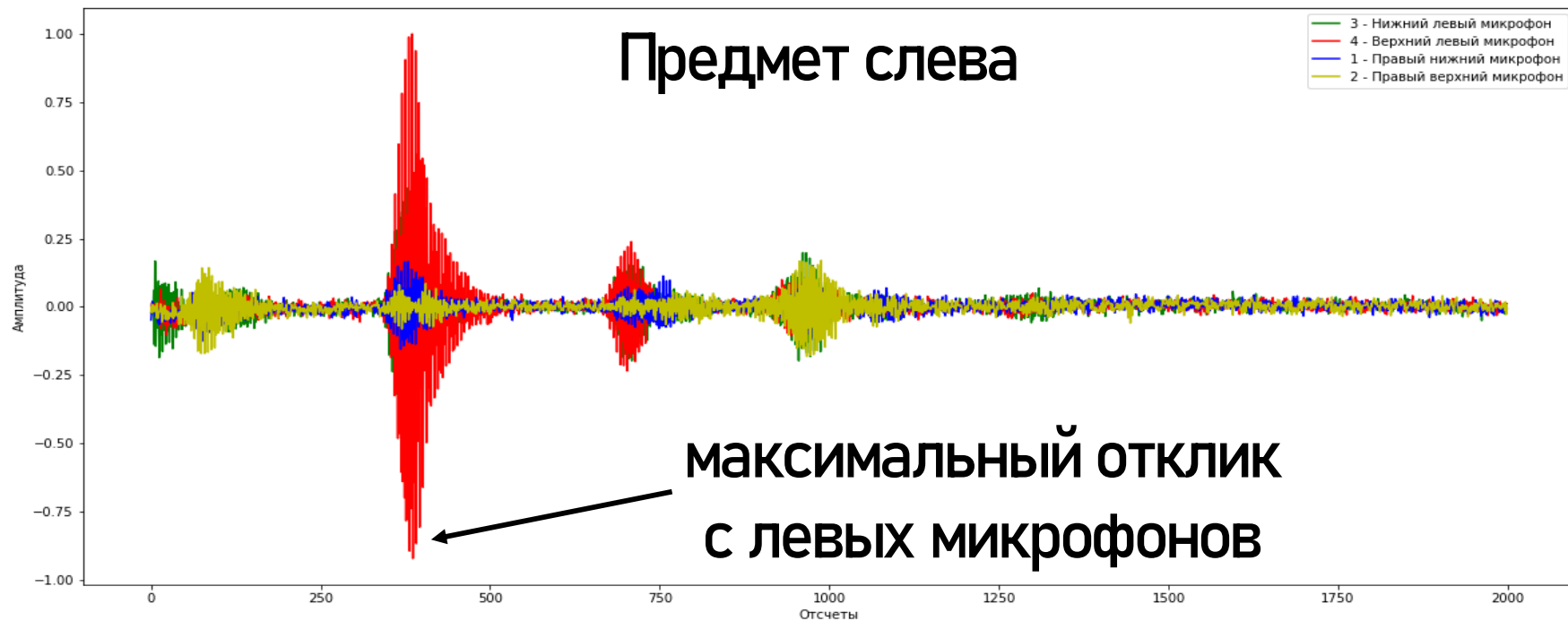


Уменьшается

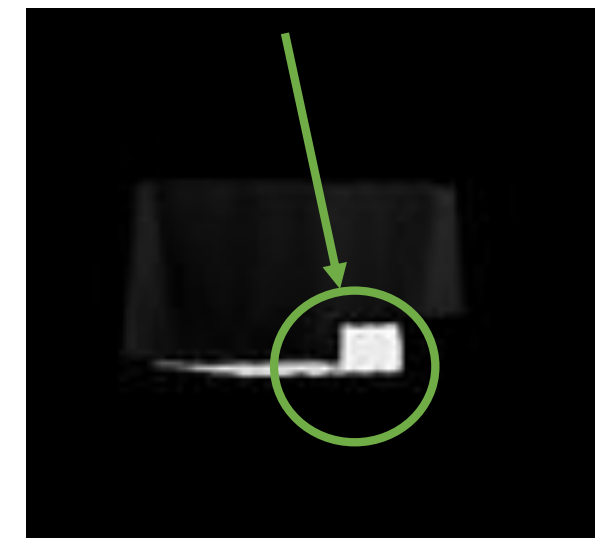
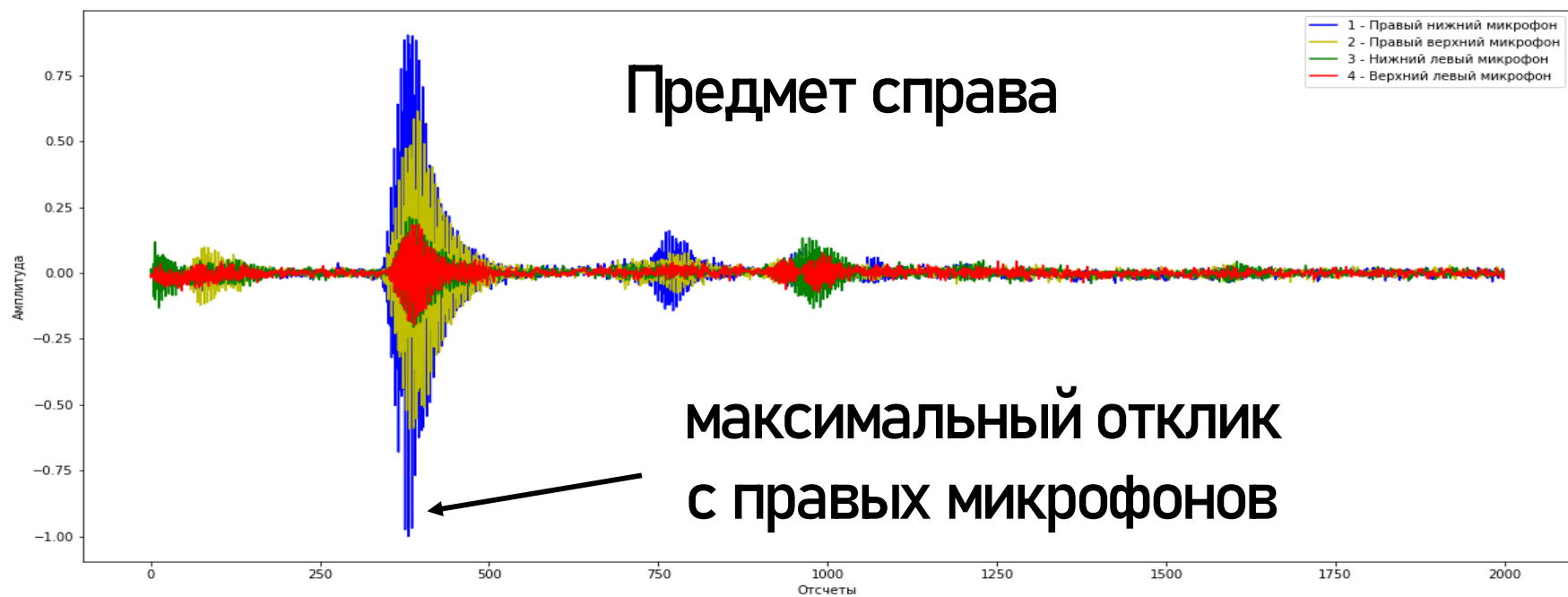
яркость пикселей

Референсная карта глубин





Предмет слева



Предмет справа

Размерность данных для подачи в ИНС

Вход ИНС

осциллограммы с четырех микрофонов – числовой вектор длиной 8000

$$[m_{1_1}, \dots, m_{2000_1}, m_{1_2}, \dots, m_{2000_2}, m_{1_3}, \dots, m_{2000_3}, m_{1_4}, \dots, m_{2000_4}]^T$$

m – нормированная амплитуда в дискретный момент времени в диапазоне $[-1;1]$

Выход ИНС

векторное представление оценки карты глубины – числовой вектор длиной 10000

$$[p'_1, p'_2, \dots, p'_{10000}]^T$$

p' – нормированное значение интенсивности пикселя в диапазоне $[0;1]$

Размер выборки

Обучающая выборка – набор данных, который используется для обучения сети

548 примеров

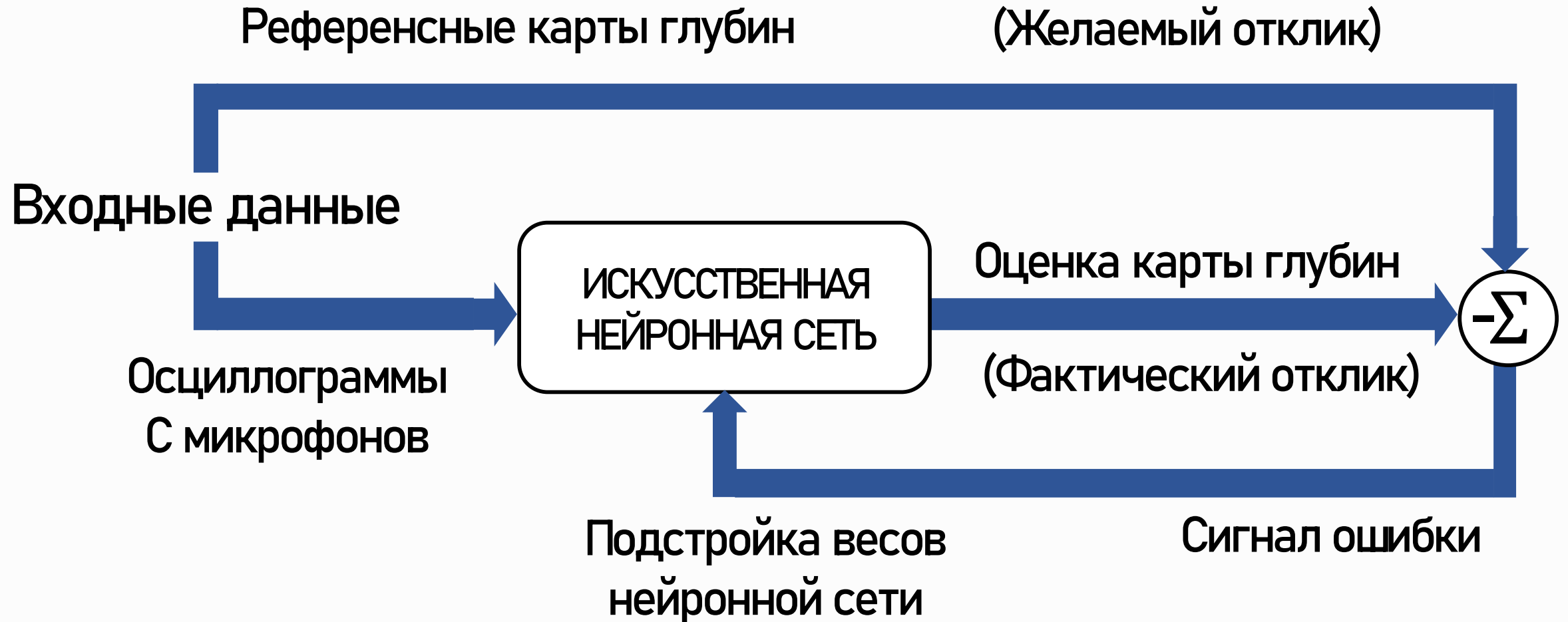
Проверочная (валидационная) выборка – набор данных, который используется в процессе обучения для оценки качества обучения сети

200 примеров

**Каждая выборка содержит
примеры из всех категорий**

Процесс обучения ИНС

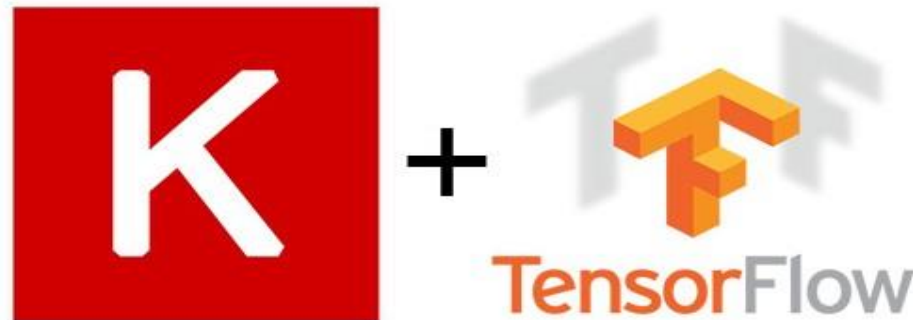
Обучение с учителем



Написание кода ИНС

ИНС написана на
высокоуровневом языке Python 

с применением открытых библиотек для
машинного обучения – Keras и TensorFlow



Параметры обучения ИНС

- Функция потерь – среднеквадратическая ошибка (MSE)

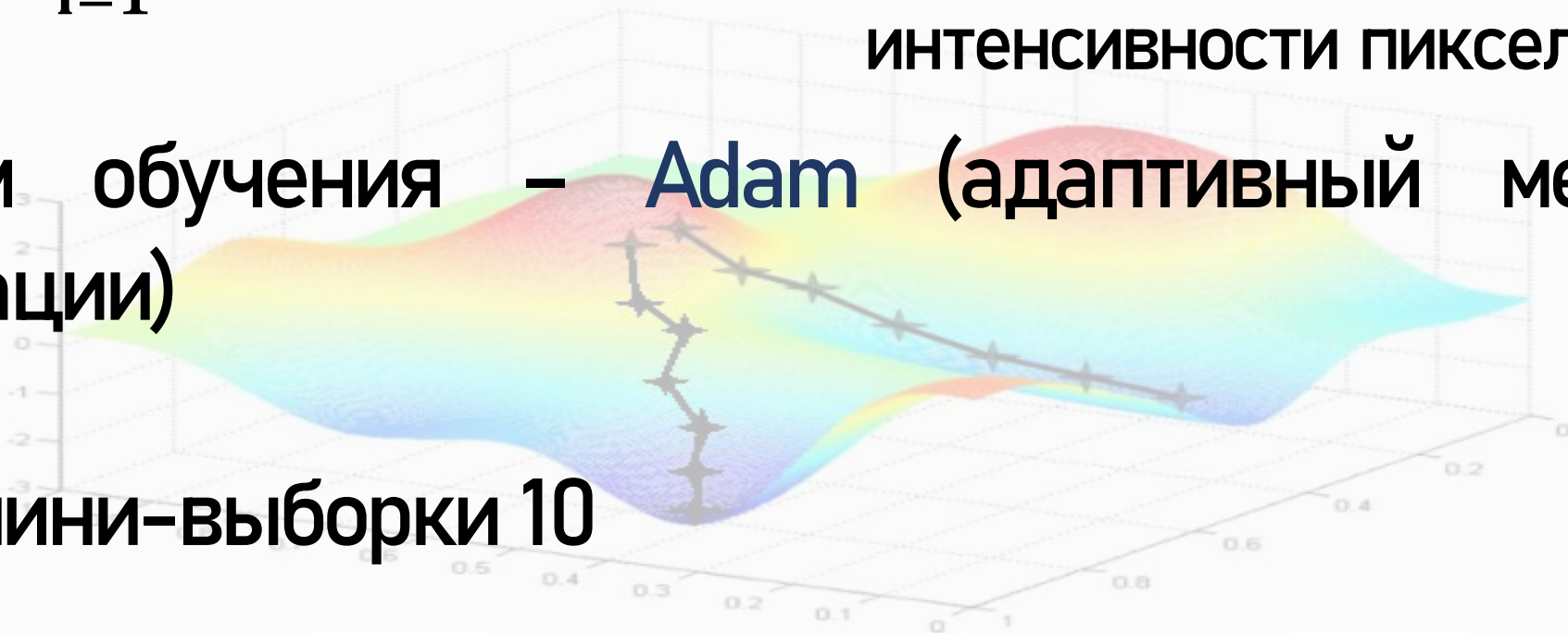
$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mathbf{p}'_i - \mathbf{p}_i)^2$$

\mathbf{p}' – оцененное значение интенсивности
пикселя

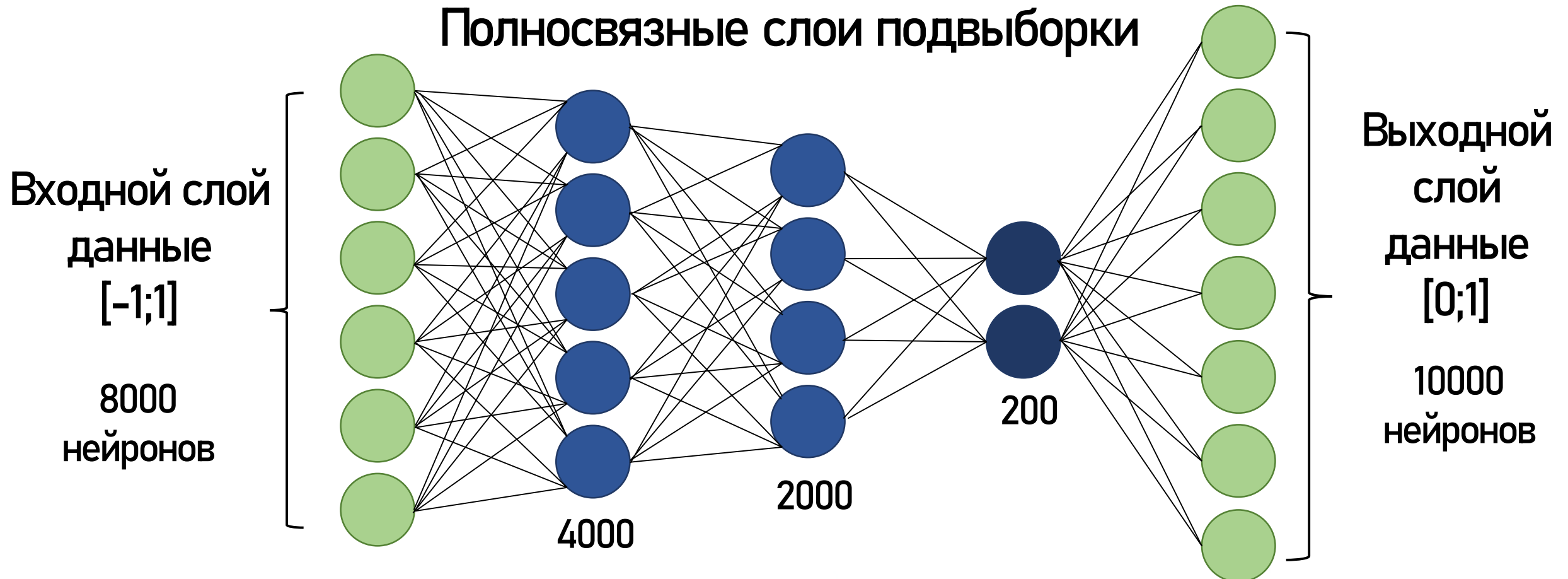
\mathbf{p} – референсное значение
интенсивности пикселя

- Алгоритм обучения – Adam (адаптивный метод оптимизации)

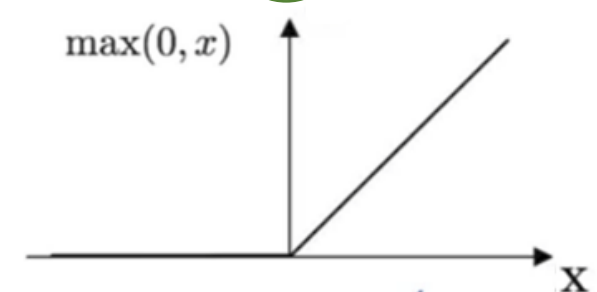
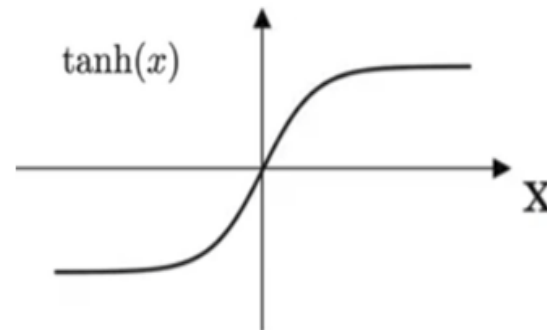
- Размер мини-выборки 10



Архитектура ИНС

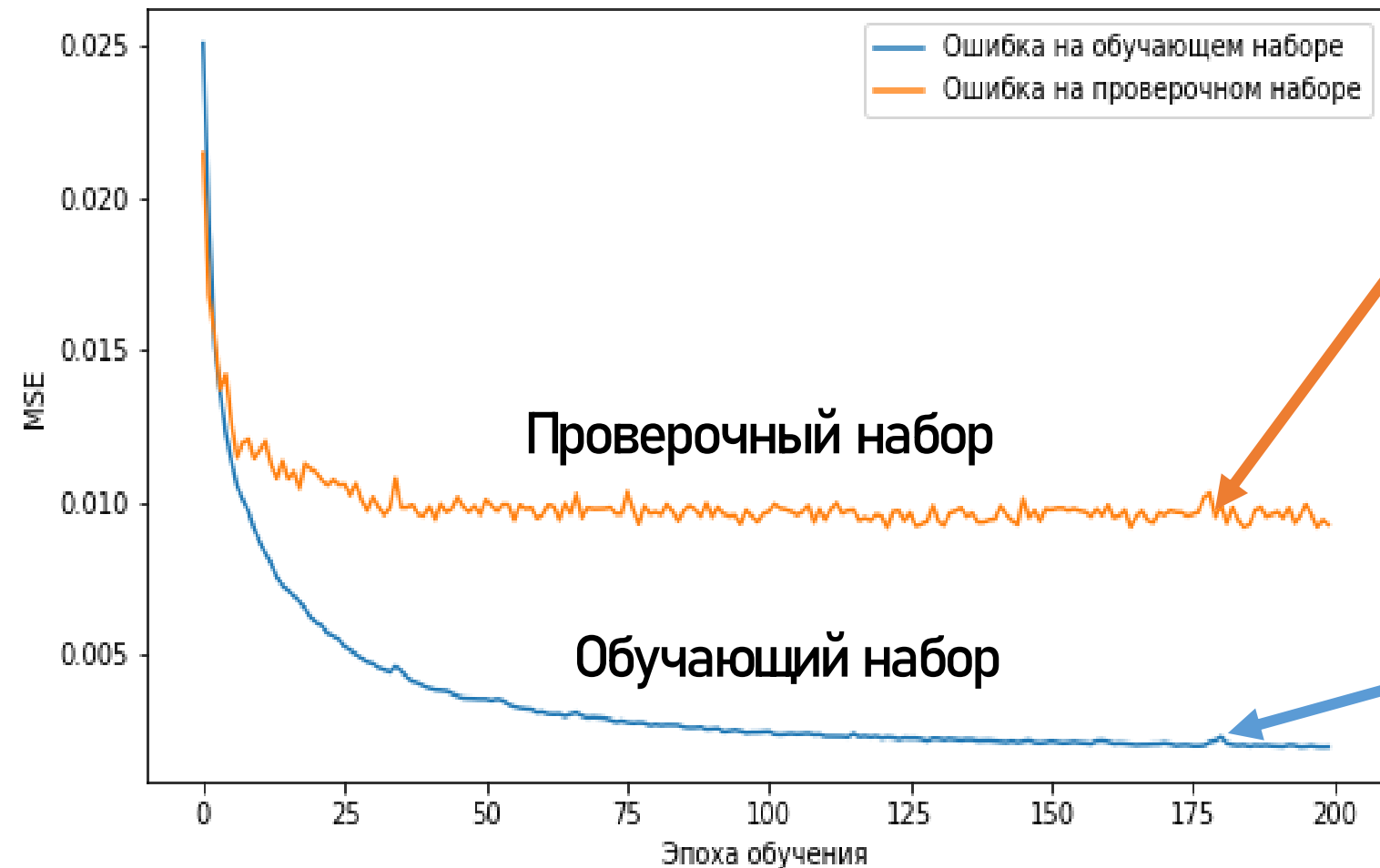


Функции активации
нейронов



Обучение ИНС

График изменения функции ошибки
сети по мере обучения ИНС



Время обучения 200 эпох – 77 секунд

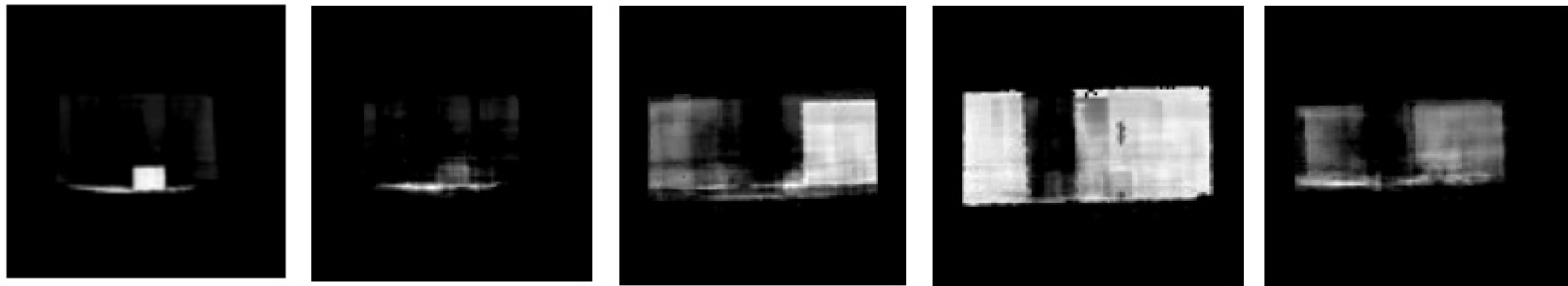
Переобучение
на проверочном наборе

Ошибка сети на
проверочном наборе
 $MSE = 0,0095$

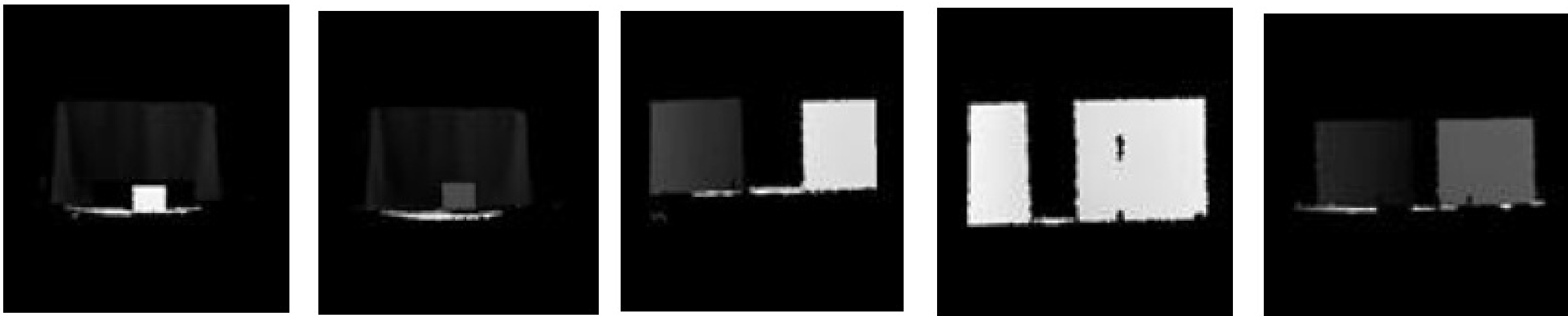
На маленькой
базе сеть
ОБУЧАЕТСЯ

Результаты работы ИНС

Оцененные карты глубин на выходе ИНС

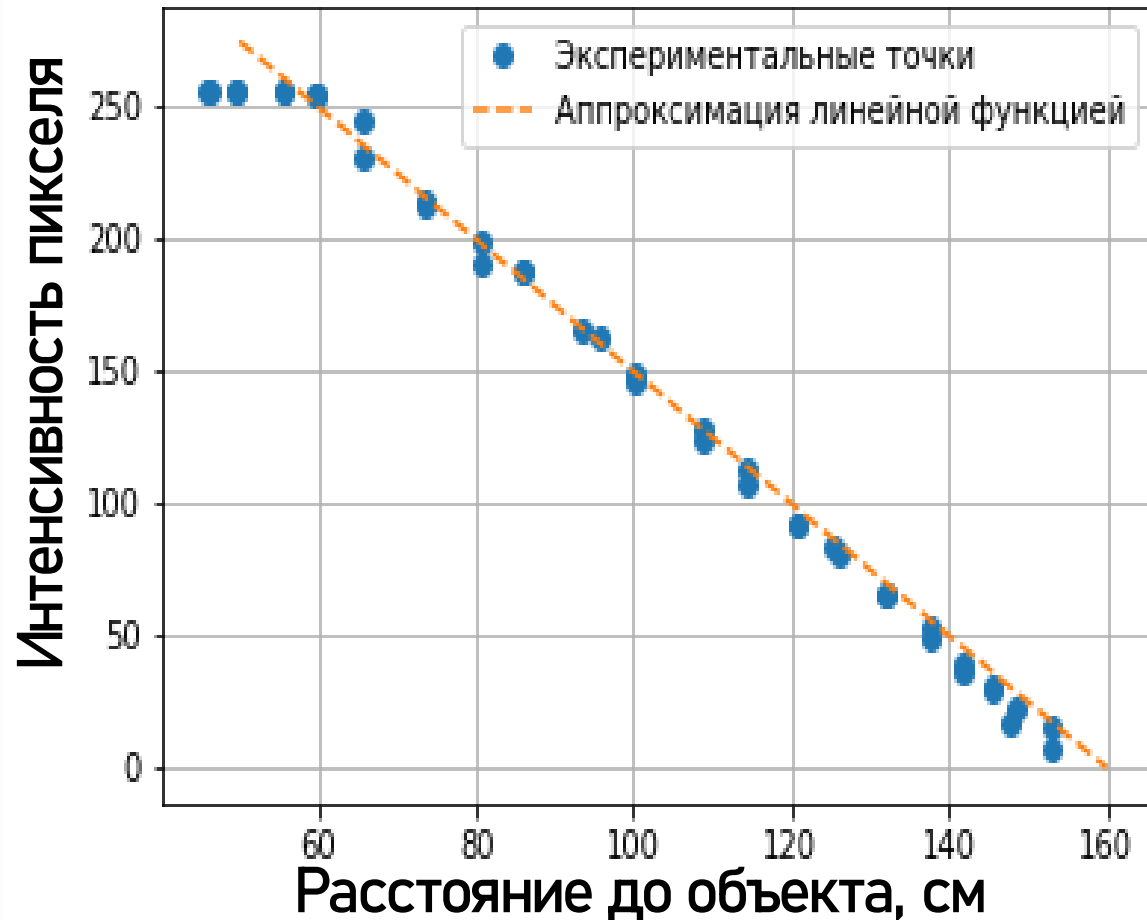


Референсные карты глубин



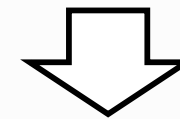
Интерпретация результатов работы ИНС

Зависимость изменения интенсивности
пикселя от расстояния до объекта



Математическое ожидание и СКО
невязки на проверочном наборе по
шкале [0;255]

$$\begin{aligned} m_{\text{инт.пикс.}} &= -0,984 \\ \sigma_{\text{инт.пикс.}} &= 24,86 \end{aligned}$$

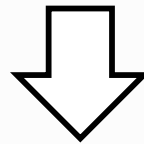


Математическое ожидание и СКО
погрешности определения расстояния

$$\begin{aligned} m_{\text{рас.}} &= 0,45 \text{ см} \\ \sigma_{\text{рас.}} &= 10,6 \text{ см} \end{aligned}$$

Выводы

- Собрана программно-аппаратная установка
- Собрана база данных для обучения ИНС
- Подобрана архитектура ИНС с наименьшей среднеквадратической ошибкой
- Визуальная оценка работы ИНС: карта глубин на выходе ИНС близка к референсной
- Численная оценка работы ИНС: дециметровая точность определения расстояния



Разработку можно применить для решения задачи
позиционирования робота среди препятствий