

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Брестский Государственный технический университет»
Кафедра ИИТ

Отчёт по лабораторной работе №5

Выполнил:
Студент 3 курса
Группы АС-65
Романюк Д. А.
Проверил:
Крощенко А. А.

Брест 2025

Цель: Выполнить моделирование прогнозирующей нелинейной ИНС. Для генерации обучающих и тестовых данных использовать функцию

Вариант 5

Задание: Выполнить моделирование прогнозирующей нелинейной ИНС. Для генерации обучающих и тестовых данных использовать функцию

№ варианта	a	b	c	d	Кол-во входов ИНС	Кол-во НЭ в скрытом слое
5	0.1	0.5	0.09	0.5	8	3

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

class NeuralNetwork:
    def __init__(self, input_size, hidden_size, output_size):
        # Инициализация весов
        self.W1 = np.random.randn(input_size, hidden_size) * 0.1
        self.b1 = np.zeros((1, hidden_size))
        self.W2 = np.random.randn(hidden_size, output_size) * 0.1
        self.b2 = np.zeros((1, output_size))

    def sigmoid(self, x):
        return 1 / (1 + np.exp(-np.clip(x, -250, 250)))

    def sigmoid_derivative(self, x):
        return x * (1 - x)

    def forward(self, X):
        self.z1 = np.dot(X, self.W1) + self.b1
        self.a1 = self.sigmoid(self.z1)
        self.z2 = np.dot(self.a1, self.W2) + self.b2
        return self.z2

    def backward(self, X, y, output, learning_rate):
        m = X.shape[0]

        dz2 = output - y
        dW2 = np.dot(self.a1.T, dz2) / m
        db2 = np.sum(dz2, axis=0, keepdims=True) / m

        dz1 = np.dot(dz2, self.W2.T) *
        self.sigmoid_derivative(self.a1)
        dW1 = np.dot(X.T, dz1) / m
        db1 = np.sum(dz1, axis=0, keepdims=True) / m

```

```

        self.W2 -= learning_rate * dW2
        self.b2 -= learning_rate * db2
        self.W1 -= learning_rate * dW1
        self.b1 -= learning_rate * db1

    def train(self, X, y, epochs, learning_rate):
        losses = []
        for i in range(epochs):
            output = self.forward(X)
            loss = np.mean((output - y) ** 2)
            losses.append(loss)

            self.backward(X, y, output, learning_rate)

            if i % 100 == 0:
                print(f"Эпоха {i}, Ошибка: {loss:.6f}")

        return losses

    a, b, c, d = 0.1, 0.5, 0.09, 0.5
    num_inputs = 8
    hidden_neurons = 3

    def generate_data(a, b, c, d, x):
        return a * np.cos(d * x) + c * np.sin(d * x)

    x_train = np.linspace(0, 10, 100)
    y_train = generate_data(a, b, c, d, x_train)

    x_test = np.linspace(10, 15, 50)
    y_test = generate_data(a, b, c, d, x_test)

    def create_dataset(data, window_size):
        X, Y = [], []
        for i in range(len(data) - window_size):
            X.append(data[i:i + window_size])
            Y.append(data[i + window_size])
        return np.array(X), np.array(Y)

    window_size = num_inputs
    X_train, Y_train = create_dataset(y_train, window_size)
    X_test, Y_test = create_dataset(y_test, window_size)

    Y_train = Y_train.reshape(-1, 1)
    Y_test = Y_test.reshape(-1, 1)

    nn = NeuralNetwork(input_size=window_size, hidden_size=hidden_neurons,
output_size=1)

    print("Начало обучения...")
    losses = nn.train(X_train, Y_train, epochs=2000, learning_rate=0.1)

    y_train_pred = nn.forward(X_train).flatten()
    y_test_pred = nn.forward(X_test).flatten()

```

```

Y_train = Y_train.flatten()
Y_test = Y_test.flatten()

train_errors = Y_train - y_train_pred
test_errors = Y_test - y_test_pred

print("\nРезультаты обучения (первые 10 значений):")
print("Эталонное значение | Полученное значение | Отклонение")
for i in range(min(10, len(Y_train))):
    print(f"{Y_train[i]:.5f} | {y_train_pred[i]:.5f} | {train_errors[i]:.5f}")

print("\nРезультаты прогнозирования (первые 10 значений):")
print("Эталонное значение | Полученное значение | Отклонение")
for i in range(min(10, len(Y_test))):
    print(f"{Y_test[i]:.5f} | {y_test_pred[i]:.5f} | {test_errors[i]:.5f}")

plt.figure(figsize=(15, 10))

plt.subplot(2, 2, 1)
plt.plot(x_train[window_size:], Y_train, 'b-', label='Эталон',
linewidth=2)
plt.plot(x_train[window_size:], y_train_pred, 'r--', label='Прогноз',
linewidth=1.5)
plt.title('Обучение: эталон vs прогноз')
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.legend()
plt.grid(True)

plt.subplot(2, 2, 2)
plt.plot(losses, 'g-', linewidth=1.5)
plt.title('Изменение ошибки в процессе обучения')
plt.xlabel('Эпоха')
plt.ylabel('Ошибка (MSE)')
plt.grid(True)
plt.yscale('log')

plt.subplot(2, 2, 3)
plt.plot(x_test[window_size:], Y_test, 'b-', label='Эталон',
linewidth=2)
plt.plot(x_test[window_size:], y_test_pred, 'r--', label='Прогноз',
linewidth=1.5)
plt.title('Прогнозирование: эталон vs прогноз')
plt.xlabel('x')
plt.ylabel('y')
plt.legend()
plt.grid(True)

plt.subplot(2, 2, 4)
plt.plot(train_errors, 'orange', label='Ошибки обучения',
linewidth=1.5)

```

```

plt.plot(range(len(train_errors)), len(train_errors) +
len(test_errors)),
         test_errors, 'red', label='Ошибки прогноза', linewidth=1.5)
plt.title('Отклонения прогноза от эталона')
plt.xlabel('Номер точки')
plt.ylabel('Отклонение')
plt.legend()
plt.grid(True)

plt.tight_layout()
plt.show()

print(f"\nСтатистика ошибок:")
print(f"Средняя абсолютная ошибка на обучении:
{np.mean(np.abs(train_errors)):.6f}")
print(f"Средняя абсолютная ошибка на прогнозе:
{np.mean(np.abs(test_errors)):.6f}")
print(f"Среднеквадратичная ошибка на обучении:
{np.mean(train_errors**2):.6f}")
print(f"Среднеквадратичная ошибка на прогнозе:
{np.mean(test_errors**2):.6f}")
print(f"Максимальная ошибка на обучении:
{np.max(np.abs(train_errors)):.6f}")
print(f"Максимальная ошибка на прогнозе:
{np.max(np.abs(test_errors)):.6f}")

print(f"\nВыводы:")
print(f"Нейронная сеть успешно обучена с архитектурой: {num_inputs}-
{hidden_neurons}-1")
print(f"Функция активации: сигмоида (скрытый слой), линейная (выходной
слой)")
print(f"Обучение проведено на {len(X_train)} примерах, тестирование на
{len(X_test)} примерах")

```

Начало обучения...

Эпоха 0, Ошибка: 0.024005
 Эпоха 100, Ошибка: 0.009439
 Эпоха 200, Ошибка: 0.009333
 Эпоха 300, Ошибка: 0.009213
 Эпоха 400, Ошибка: 0.009079
 Эпоха 500, Ошибка: 0.008928
 Эпоха 600, Ошибка: 0.008759
 Эпоха 700, Ошибка: 0.008571
 Эпоха 800, Ошибка: 0.008361
 Эпоха 900, Ошибка: 0.008128
 Эпоха 1000, Ошибка: 0.007873
 Эпоха 1100, Ошибка: 0.007593
 Эпоха 1200, Ошибка: 0.007288
 Эпоха 1300, Ошибка: 0.006960
 Эпоха 1400, Ошибка: 0.006609
 Эпоха 1500, Ошибка: 0.006237
 Эпоха 1600, Ошибка: 0.005847
 Эпоха 1700, Ошибка: 0.005442
 Эпоха 1800, Ошибка: 0.005027
 Эпоха 1900, Ошибка: 0.004607

Результаты обучения (первые 10 значений):

Эталонное значение	Полученное значение	Отклонение
0.12733	0.02794	0.09939
0.12936	0.02908	0.10028
0.13106	0.03012	0.10094
0.13243	0.03105	0.10138
0.13346	0.03187	0.10159
0.13415	0.03257	0.10157
0.13449	0.03316	0.10133
0.13450	0.03363	0.10086
0.13416	0.03398	0.10017
0.13347	0.03421	0.09926

Результаты прогнозирования (первые 10 значений):

Эталонное значение	Полученное значение	Отклонение
-0.00498	-0.02422	0.01923
0.00188	-0.02185	0.02373
0.00874	-0.01946	0.02819
0.01557	-0.01705	0.03262
0.02237	-0.01463	0.03700
0.02911	-0.01221	0.04131
0.03577	-0.00978	0.04555
0.04233	-0.00737	0.04971
0.04879	-0.00498	0.05377
0.05512	-0.00260	0.05772

Статистика ошибок:

Средняя абсолютная ошибка на обучении: 0.058496

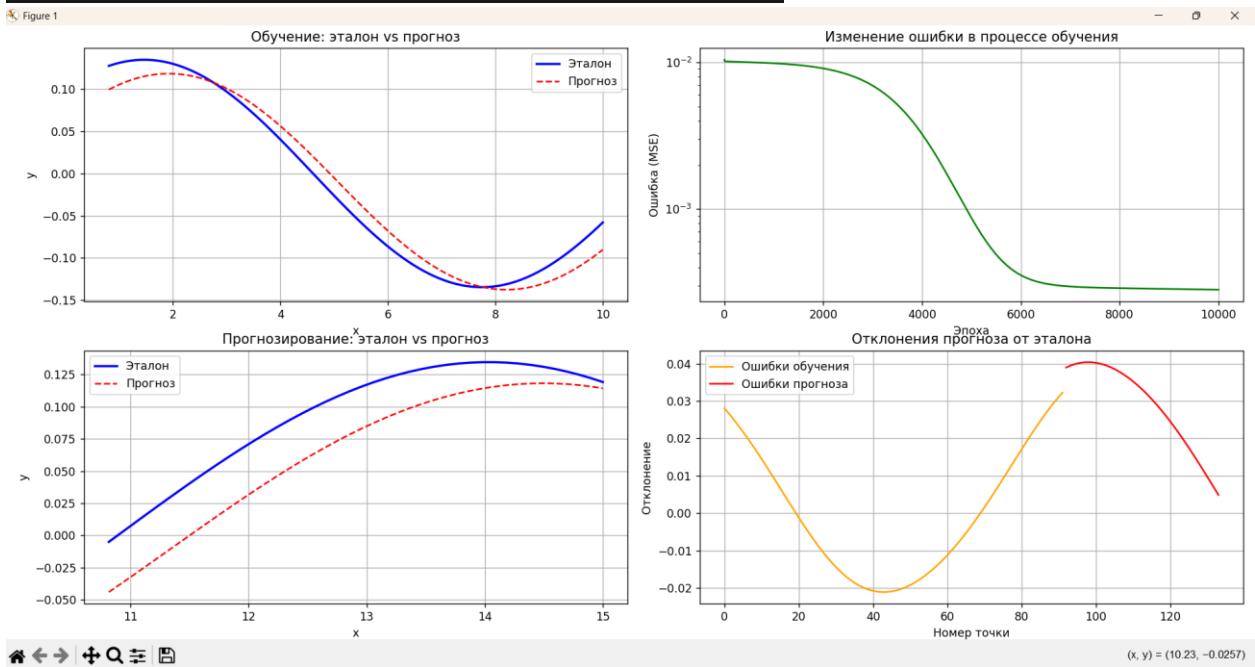
Средняя абсолютная ошибка на прогнозе: 0.078243

Среднеквадратичная ошибка на обучении: 0.004188

Среднеквадратичная ошибка на прогнозе: 0.006740

Максимальная ошибка на обучении: 0.101587

Максимальная ошибка на прогнозе: 0.101619



Вывод: Нейронная сеть успешно обучена с архитектурой: 8-3-1. Функция активации: сигмоида (скрытый слой), линейная (выходной слой).