

# Лабораторна робота 6

**Тема:** Дослідження рекурентних нейронних мереж

**Мета:** використовуючи спеціалізовані бібліотеки та мову програмування Python навчитися дослідити деякі типи нейронних мереж.

Хід роботи

**Завдання 2.1.** Ознайомлення з Рекурентними нейронними мережами

```
import random

class RNN:
    # A many-to-one Vanilla Recurrent Neural Network.

    def __init__(self, input_size, output_size, hidden_size=64):
        # Weights
        self.Whh = randn(hidden_size, hidden_size) / 1000
        self.Wxh = randn(hidden_size, input_size) / 1000
        self.Why = randn(output_size, hidden_size) / 1000

        # Biases
        self.bh = np.zeros((hidden_size, 1))
        self.by = np.zeros((output_size, 1))

    def forward(self, inputs):
        """
        Perform a forward pass of the RNN using the given inputs.
        Returns the final output and hidden state.
        - inputs is an array of one hot vectors with shape (input_size, 1).
        """
        h = np.zeros((self.Whh.shape[0], 1))

        self.last_inputs = inputs
        self.last_hs = { 0: h }

        # Perform each step of the RNN
        for i, x in enumerate(inputs):
            h = np.tanh(self.Wxh @ x + self.Whh @ h + self.bh)
            self.last_hs[i + 1] = h

        # Compute the output
        y = self.Why @ h + self.by

        return y, h

    def backprop(self, d_y, learn_rate=2e-2):
        """
        Perform a backward pass of the RNN.
        - d_y (dL/dy) has shape (output_size, 1).
        - learn_rate is a float.
```

					ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Звіт з лабораторної роботи				Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Билков В.С.										1	12
Перевір.		Філіпов В.О.							ФІКТ Гр. ІПЗк-20-1[1]				
Керівник													
Н. контр.													
Зав. каф.													

```

'''
n = len(self.last_inputs)

# Calculate dL/dWhy and dL/dby.
d_Why = d_y @ self.last_hs[n].T
d_by = d_y

# Initialize dL/dWhh, dL/dWxh, and dL/dbh to zero.
d_Whh = np.zeros(self.Whh.shape)
d_Wxh = np.zeros(self.Wxh.shape)
d_bh = np.zeros(self.bh.shape)

# Calculate dL/dh for the last h.
# dL/dh = dL/dy * dy/dh
d_h = self.Why.T @ d_y

# Backpropagate through time.
for t in reversed(range(n)):
    # An intermediate value: dL/dh * (1 - h^2)
    temp = ((1 - self.last_hs[t + 1] ** 2) * d_h)

    # dL/db = dL/dh * (1 - h^2)
    d_bh += temp

    # dL/dWhh = dL/dh * (1 - h^2) * h_{t-1}
    d_Whh += temp @ self.last_hs[t].T

    # dL/dWxh = dL/dh * (1 - h^2) * x
    d_Wxh += temp @ self.last_inputs[t].T

    # Next dL/dh = dL/dh * (1 - h^2) * Whh
    d_h = self.Whh @ temp

# Clip to prevent exploding gradients.
for d in [d_Wxh, d_Whh, d_Why, d_bh, d_by]:
    np.clip(d, -1, 1, out=d)

# Update weights and biases using gradient descent.
self.Whh -= learn_rate * d_Whh
self.Wxh -= learn_rate * d_Wxh
self.Why -= learn_rate * d_Why
self.bh -= learn_rate * d_bh
self.by -= learn_rate * d_by

from data import train_data, test_data

# Create the vocabulary.
vocab = list(set([w for text in train_data.keys() for w in text.split(' ')]))
vocab_size = len(vocab)
print('%d unique words found' % vocab_size)

# Assign indices to each word.
word_to_idx = { w: i for i, w in enumerate(vocab) }
idx_to_word = { i: w for i, w in enumerate(vocab) }
# print(word_to_idx['good'])
# print(idx_to_word[0])

def createInputs(text):
    '''
    Returns an array of one-hot vectors representing the words in the input text
    string.
    - text is a string

```

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

```

- Each one-hot vector has shape (vocab_size, 1)
'''
inputs = []
for w in text.split(' '):
    v = np.zeros((vocab_size, 1))
    v[word_to_idx[w]] = 1
    inputs.append(v)
return inputs

def softmax(xs):
    # Applies the Softmax Function to the input array.
    return np.exp(xs) / sum(np.exp(xs))

# Initialize our RNN!
rnn = RNN(vocab_size, 2)

def processData(data, backprop=True):
    '''
    Returns the RNN's loss and accuracy for the given data.
    - data is a dictionary mapping text to True or False.
    - backprop determines if the backward phase should be run.
    '''
    items = list(data.items())
    random.shuffle(items)

    loss = 0
    num_correct = 0

    for x, y in items:
        inputs = createInputs(x)
        target = int(y)

        # Forward
        out, _ = rnn.forward(inputs)
        probs = softmax(out)

        # Calculate loss / accuracy
        loss -= np.log(probs[target])
        num_correct += int(np.argmax(probs) == target)

        if backprop:
            # Build dL/dy
            d_L_d_y = probs
            d_L_d_y[target] -= 1

            # Backward
            rnn.backprop(d_L_d_y)

    return loss / len(data), num_correct / len(data)

# Training loop
for epoch in range(1000):
    train_loss, train_acc = processData(train_data)

    if epoch % 100 == 99:
        print('-- Epoch %d' % (epoch + 1))
        print('Train:\tLoss %.3f | Accuracy: %.3f' % (train_loss, train_acc))

        test_loss, test_acc = processData(test_data, backprop=False)
        print('Test:\tLoss %.3f | Accuracy: %.3f' % (test_loss, test_acc))

import numpy as np
from numpy.random import randn

```

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

class RNN:
    # A many-to-one Vanilla Recurrent Neural Network.

    def __init__(self, input_size, output_size, hidden_size=64):
        # Weights
        self.Whh = randn(hidden_size, hidden_size) / 1000
        self.Wxh = randn(hidden_size, input_size) / 1000
        self.Why = randn(output_size, hidden_size) / 1000

        # Biases
        self.bh = np.zeros((hidden_size, 1))
        self.by = np.zeros((output_size, 1))

    def forward(self, inputs):
        '''
        Perform a forward pass of the RNN using the given inputs.
        Returns the final output and hidden state.
        - inputs is an array of one hot vectors with shape (input_size, 1).
        '''
        h = np.zeros((self.Whh.shape[0], 1))

        self.last_inputs = inputs
        self.last_hs = { 0: h }

        # Perform each step of the RNN
        for i, x in enumerate(inputs):
            h = np.tanh(self.Wxh @ x + self.Whh @ h + self.bh)
            self.last_hs[i + 1] = h

        # Compute the output
        y = self.Why @ h + self.by

        return y, h

    def backprop(self, d_y, learn_rate=2e-2):
        '''
        Perform a backward pass of the RNN.
        - d_y (dL/dy) has shape (output_size, 1).
        - learn_rate is a float.
        '''
        n = len(self.last_inputs)

        # Calculate dL/dWhy and dL/dby.
        d_Why = d_y @ self.last_hs[n].T
        d_by = d_y

        # Initialize dL/dWhh, dL/dWxh, and dL/dbh to zero.
        d_Whh = np.zeros(self.Whh.shape)
        d_Wxh = np.zeros(self.Wxh.shape)
        d_bh = np.zeros(self.bh.shape)

        # Calculate dL/dh for the last h.
        # dL/dh = dL/dy * dy/dh
        d_h = self.Why.T @ d_y

        # Backpropagate through time.
        for t in reversed(range(n)):
            # An intermediate value: dL/dh * (1 - h^2)
            temp = ((1 - self.last_hs[t + 1] ** 2) * d_h)

            # dL/db = dL/dh * (1 - h^2)
            d_bh += temp

```

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

```

# dL/dWhh = dL/dh * (1 - h^2) * h_{t-1}
d_Whh += temp @ self.last_hs[t].T

# dL/dWxh = dL/dh * (1 - h^2) * x
d_Wxh += temp @ self.last_inputs[t].T

# Next dL/dh = dL/dh * (1 - h^2) * Whh
d_h = self.Whh @ temp

# Clip to prevent exploding gradients.
for d in [d_Wxh, d_Whh, d_Why, d_bh, d_by]:
    np.clip(d, -1, 1, out=d)

# Update weights and biases using gradient descent.
self.Whh -= learn_rate * d_Whh
self.Wxh -= learn_rate * d_Wxh
self.Why -= learn_rate * d_Why
self.bh -= learn_rate * d_bh
self.by -= learn_rate * d_by

```

```

C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\venv\Scripts\python.exe C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\main.py
18 unique words found
--- Epoch 100
Train: Loss 0.689 | Accuracy: 0.552
Test: Loss 0.697 | Accuracy: 0.500
--- Epoch 200
Train: Loss 0.671 | Accuracy: 0.621
Test: Loss 0.721 | Accuracy: 0.500
--- Epoch 300
Train: Loss 0.566 | Accuracy: 0.655
Test: Loss 0.618 | Accuracy: 0.650
--- Epoch 400
Train: Loss 0.393 | Accuracy: 0.828
Test: Loss 0.716 | Accuracy: 0.550
--- Epoch 500
Train: Loss 0.300 | Accuracy: 0.914
Test: Loss 0.582 | Accuracy: 0.700
--- Epoch 600
Train: Loss 0.259 | Accuracy: 0.914
Test: Loss 0.372 | Accuracy: 0.800
--- Epoch 700
Train: Loss 0.089 | Accuracy: 0.966
Test: Loss 0.088 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 800
Train: Loss 0.004 | Accuracy: 1.000
Test: Loss 0.009 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 900
Train: Loss 0.002 | Accuracy: 1.000
Test: Loss 0.004 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 1000
Train: Loss 0.001 | Accuracy: 1.000
Test: Loss 0.003 | Accuracy: 1.000

Process finished with exit code 0

```

**Мал. 6.1.** Виконання файлу main.py

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

18 unique words found
--- Epoch 100
Train:  Loss 0.688 | Accuracy: 0.552
Test:   Loss 0.696 | Accuracy: 0.500
--- Epoch 200
Train:  Loss 0.665 | Accuracy: 0.569
Test:   Loss 0.720 | Accuracy: 0.500
--- Epoch 300
Train:  Loss 0.129 | Accuracy: 0.948
Test:   Loss 0.239 | Accuracy: 0.950
--- Epoch 400
Train:  Loss 0.012 | Accuracy: 1.000
Test:   Loss 0.013 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 500
Train:  Loss 0.005 | Accuracy: 1.000
Test:   Loss 0.006 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 600
Train:  Loss 0.003 | Accuracy: 1.000
Test:   Loss 0.004 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 700
Train:  Loss 0.002 | Accuracy: 1.000
Test:   Loss 0.003 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 800
Train:  Loss 0.002 | Accuracy: 1.000
Test:   Loss 0.002 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 900
Train:  Loss 0.001 | Accuracy: 1.000
Test:   Loss 0.002 | Accuracy: 1.000
--- Epoch 1000
Train:  Loss 0.001 | Accuracy: 1.000
Test:   Loss 0.001 | Accuracy: 1.000

```

**Мал. 6.2.** Виконання файлу LR\_6\_task\_1.py

Ми спостерігаємо повідомлення на рисунку 1-2 “18 unique words found” це означає, що зміна vocab тепер буде мати перелік всіх слів, які вживаються щонайменше в одному навчальному тексті. Рекурентна нейронна мережа не розрізняє слів – лише числа. Тому у словнику 18 унікальних слів, кожне буде 18-мірним унітарним вектором. І далі відбувається тренування мережі. Виведення кожної сотої епохи для відслідковування прогресу

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Завдання 2.2. Дослідження рекурентної нейронної мережі Елмана (Elman Recurrent network (newelm))

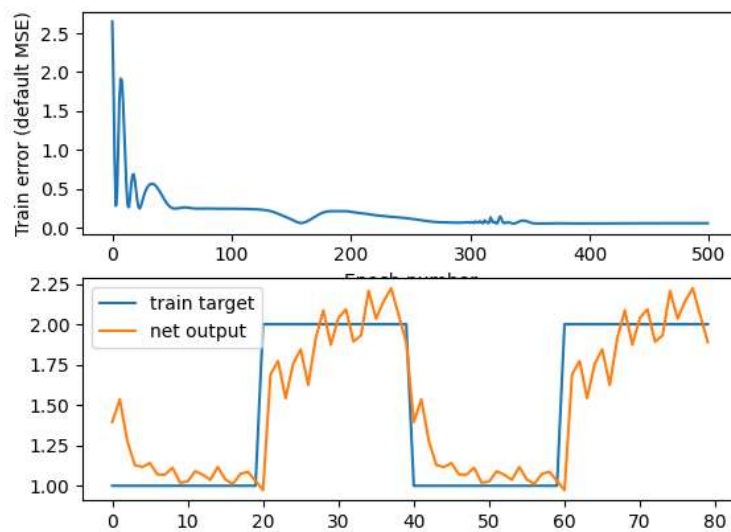
```
import neurolab as nl
import numpy as np

i1 = np.sin(np.arange(0, 20))
i2 = np.sin(np.arange(0, 20)) * 2
t1 = np.ones([1, 20])
t2 = np.ones([1, 20]) * 2
input = np.array([i1, i2, i1, i2]).reshape(20 * 4, 1)
target = np.array([t1, t2, t1, t2]).reshape(20 * 4, 1)
net = nl.net.newelm([-2, 2], [10, 1], [nl.trans.TanSig(), nl.trans.PureLin()])
net.layers[0].initf = nl.init.InitRand([-0.1, 0.1], 'wb')
net.layers[1].initf = nl.init.InitRand([-0.1, 0.1], 'wb')
net.init()
# Тренування мережі
error = net.train(input, target, epochs=500, show=100, goal=0.01)
# Запустіть мережу
output = net.sim(input)
# Побудова графіків
import pylab as pl
pl.subplot(211)
pl.plot(error)
pl.xlabel('Epoch number')
pl.ylabel('Train error (default MSE)')

pl.subplot(212)
pl.plot(target.reshape(80))
pl.plot(output.reshape(80))
pl.legend(['train target', 'net output'])
pl.show()
```

```
C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\venv\Scripts\python.exe C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\LR_6_task_2.py
Epoch: 100; Error: 0.24987329902179783;
Epoch: 200; Error: 0.1308049361804294;
Epoch: 300; Error: 0.11727546033123035;
Epoch: 400; Error: 0.10391985979935728;
Epoch: 500; Error: 0.07425993870723857;
The maximum number of train epochs is reached
```

Мал. 6.3. Виконання файлу LR\_6\_task\_2.py



Мал. 6.4 Виконання програми

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Завдання 2.3. Дослідження нейронної мережі Хемінга (Hemming Recurrent network)

```
import numpy as np
import neurolab as nl

target = [[-1, 1, -1, -1, 1, -1, -1, 1, -1],
          [1, 1, 1, 1, -1, 1, 1, -1, 1],
          [1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, 1],
          [1, 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, -1],
          [-1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, -1, -1]]

input = [[-1, -1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, 1],
         [-1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, -1],
         [-1, -1, -1, -1, 1, -1, -1, 1, -1]]

# Створення та тренування нейромережі
net = nl.net.newhem(target)

output = net.sim(target)
print("Test on train samples (must be [0, 1, 2, 3, 4])")
print(np.argmax(output, axis=0))

output = net.sim([input[0]])
print("Outputs on recurent cycle:")
print(np.array(net.layers[1].outs))

output = net.sim(input)
print("Outputs on test sample:")
print(output)
```

```
C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\venv\Scripts\python.exe C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\LR_6_task_3.py
Test on train samples (must be [0, 1, 2, 3, 4])
[0 1 2 3 4]
Outputs on recurent cycle:
[[0.    0.24   0.48   0.    0.    ]
 [0.    0.144  0.432  0.    0.    ]
 [0.    0.0576 0.4032 0.    0.    ]
 [0.    0.    0.39168 0.    0.    ]]
Outputs on test sample:
[[0.    0.    0.39168 0.    0.    ]
 [0.    0.    0.    0.    0.39168 ]
 [0.07516193 0.    0.    0.    0.07516193]]

Process finished with exit code 0
```

Мал. 6.5 Виконання програми

### Завдання 2.4. Дослідження рекурентної нейронної мережі Хопфілда Hopfield Recurrent network (newhop)

```
import numpy as np
import neurolab as nl

target = [[1,0,0,0,1,
          1,1,0,0,1,
          1,0,1,0,1,
          1,0,0,1,1,
          1,0,0,0,1],
          [1,1,1,1,1,
          1,0,0,0,0,
          1,1,1,1,1,
```

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



```

1,0,0,0,0,
1,1,1,1,1],
[1,1,1,1,0,
1,0,0,0,1,
1,1,1,1,0,
1,0,0,1,0,
1,0,0,0,1],
[0,1,1,1,0,
1,0,0,0,1,
1,0,0,0,1,
1,0,0,0,1,
0,1,1,1,0]]
chars = ['N', 'E', 'R', 'O']
target = np.asfarray(target)
target[target == 0] = -1
net = nl.net.newhop(target)
output = net.sim(target)
print("Test on train samples:")
for i in range(len(target)):
    print(chars[i], (output[i] == target[i]).all())

print("\nTest on defaced E:")
test = np.asfarray(
    [0, 0, 0, 0, 0,
     0, 1, 1, 1, 1,
     0, 1, 1, 1, 1,
     0, 1, 1, 1, 1,
     0, 0, 0, 0, 0],
    )
test[test==0] = -1
out = net.sim([test])
print ((out[0] == target[1]).all(), 'Sim. steps', len(net.layers[0].outs))

```

```

C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\venv\Scripts\python.exe C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\LR_6_task_4.py
Test on train samples:
N True
E True
R True
O True

Test on defaced E:
False Sim. steps 3

```

### Мал. 6.6 Виконання програми

```

print("\nTest on defaced A:")
test = np.asfarray(
    [0, 0, 0, 0, 0,
     1, 1, 1, 1, 1,
     0, 1, 1, 1, 1,
     0, 1, 1, 1, 1,
     0, 0, 0, 0, 1],
    )
test[test==0] = -1
out = net.sim([test])
print ((out[0] == target[1]).all(), 'Sim. steps', len(net.layers[0].outs))

```

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\venv\Scripts\python.exe C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\LR_6_task_4.py
Test on train samples:
N True
E True
R True
O True

Test on defaced A:
False Sim. steps 4

Process finished with exit code 0
```

**Мал. 6.7** Виконання програми

```
print("\nTest on defaced M:")
test = np.asfarray(
    [0, 0, 0, 0, 0,
     1, 1, 0, 0, 1,
     1, 1, 1, 1, 1,
     0, 1, 1, 1, 1,
     1, 0, 0, 0, 1],
    )
test[test==0] = -1
out = net.sim([test])
print ((out[0] == target[1]).all(), 'Sim. steps', len(net.layers[0].outs))
```

```
C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\venv\Scripts\python.exe C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\LR_6_task_4.py
Test on train samples:
N True
E True
R True
O True

Test on defaced M:
False Sim. steps 3

Process finished with exit code 0
```

**Мал. 6.8** Виконання програми

Як бачимо, навчання пройшло правильно і мережа при невеликій кількості помилок вгадала букви правильно.

**Завдання 2.5.** Дослідження рекурентної нейронної мережі Хопфілда для ваших персональних даних

```
import numpy as np
import neurolab as nl

target = [[1, 1, 1, 1, 1,
           1, 0, 0, 0, 1,
           1, 0, 0, 0, 1,
           1, 0, 0, 0, 1,
           1, 0, 0, 0, 1],
          [1, 1, 1, 1, 1,
           1, 1, 0, 1, 1,
           1, 1, 1, 1, 1,
           1, 1, 0, 1, 1,
           1, 1, 1, 1, 1],
          [1, 1, 1, 1, 1,
           1, 0, 0, 0, 0,
```

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

        1, 0, 0, 0, 0,
        1, 0, 0, 0, 0,
        1, 1, 1, 1, 1]
    ]
    chars = ['V', 'P', 'O']
    target = np.asfarray(target)
    target[target == 0] = -1
    net = nl.net.newhop(target)
    output = net.sim(target)
    print("Test on train samples:")
    for i in range(len(target)):
        print(chars[i], (output[i] == target[i]).all())

```

```

C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\venv\Scripts\python.exe C:\Users\Admin\PycharmProjects\labaa6\LR_6_task_5.py
Test on train samples:
V True
P True
O True

Process finished with exit code 0

```

**Мал. 6.9** Виконання програми

```

print("\nTest on defaced V:")
test = np.asfarray([1, 1, 1, 1, 1,
                    1, 0, 0, 0, 1,
                    1, 0, 0, 0, 1,
                    1, 0, 1, 0, 1,
                    1, 0, 0, 0, 0])
test[test==0] = -1
out = net.sim([test])
print((out[0] == target[0]).all(), 'Sim. steps', len(net.layers[0].outs))

```

```

Test on defaced V:
True Sim. steps 1

Process finished with exit code 0

```

**Мал. 6.10** Виконання програми

Зробив деякі заміни. Результат був True(Мал. 6.26). Якщо навчання пройшло правильно то мережа при невеликій кількості помилок буде вгадувати букву правильно. Значить все вірно.

**ВИСНОВОК:** під час виконання лабораторної роботи, використовуючи спеціалізовані бібліотеки та мову програмування Python навчився досліджувати деякі типи нейронних мереж.

Git [https://github.com/vladislavbilkov/Labs\\_AIS](https://github.com/vladislavbilkov/Labs_AIS)

		Билков В.С.			ДУ «Житомирська політехніка».22.121.04.000 – Лр6	Арк.
		Філіпов В.О.				11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		