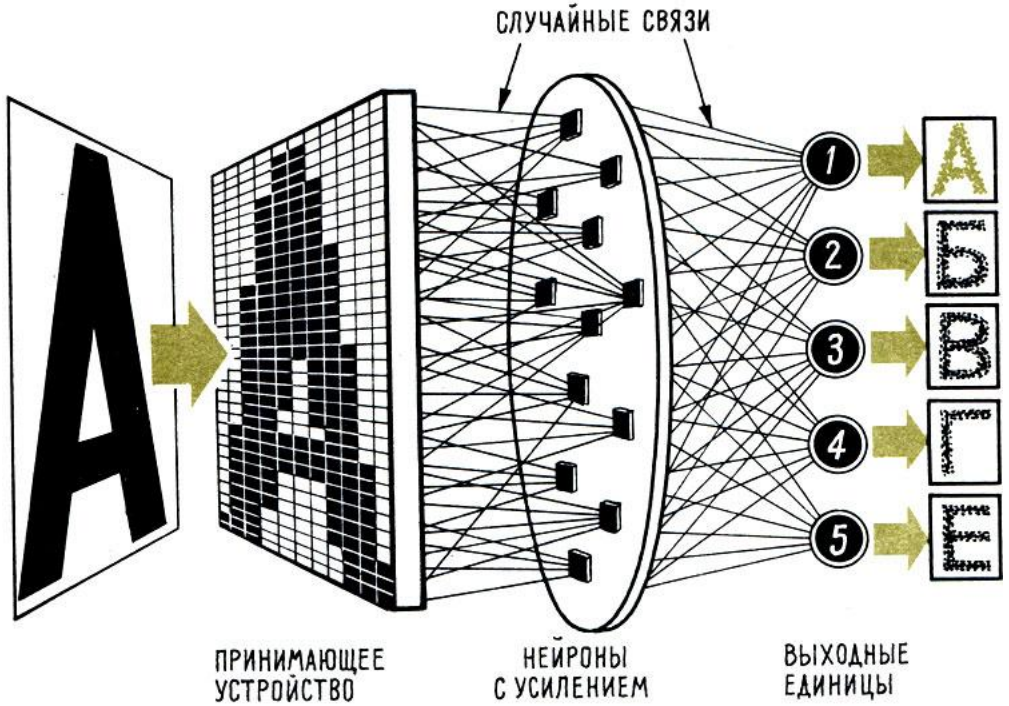
Проект #24:
[Распознавание образов]



Техническое задание

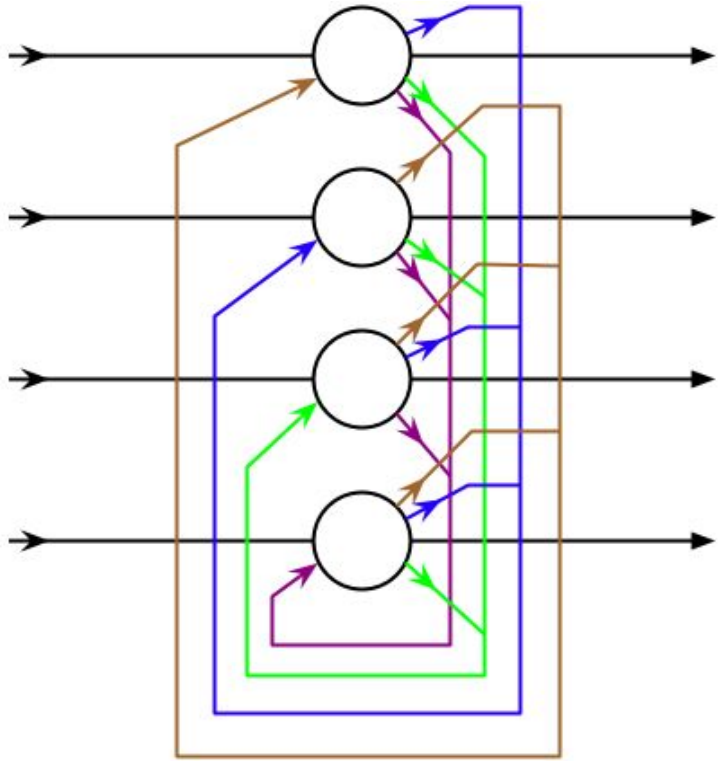
Разработать проект, включающий в себя:

- Распознавание поданных образов
- Распознавание искаженных образов

Используемые фреймворки и библиотеки

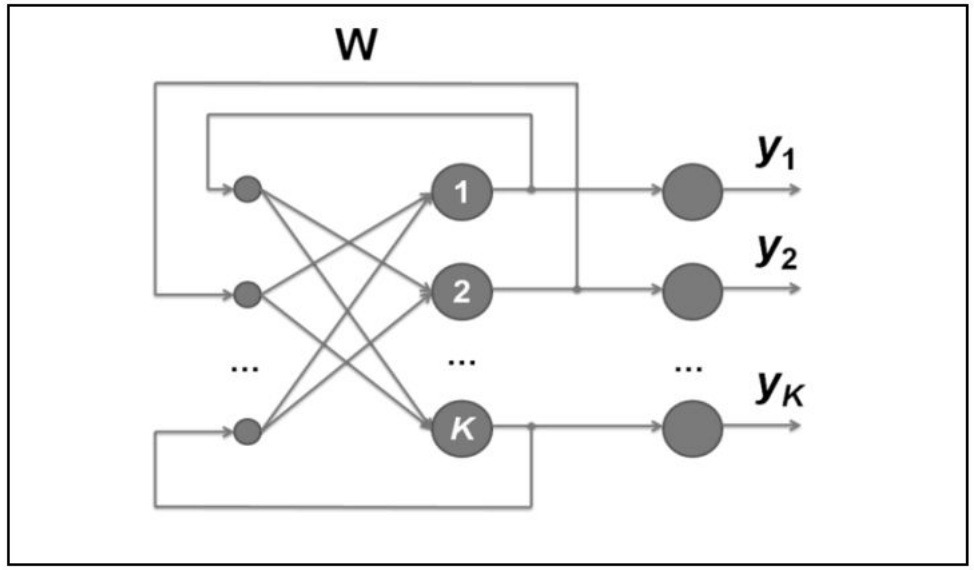
- numpy http://www.numpy.org
- functools https://docs.python.org/2/library/functools.html
- os https://docs.python.org/3/library/os.html
- Pillow https://pillow.readthedocs.io/en/5.3.x

Теория



Теория

Нейронная сети Хопфилда на примере задачи распознавания образов



Рекуррентная нейронная сеть Хопфилда является автоассоциативной памятью

Теория

В синхронном режиме каждая эпоха с номером $n = 1, 2, \ldots$ включает в себя следующие вычисления:

$$\mathrm{net}_k^{(n)} = \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq k)}}^{K} w_{jk} y_j^{(n-1)}, \quad y_k^{(n)} = f\left(\mathrm{net}_k^{(n)}\right), \quad k = 1, 2, \ldots, K. \qquad (7.1)$$

Здесь функция активации каждого нейрона

$$f\left(\mathrm{net}_k^{(n)}\right) = \begin{cases} 1, & \mathrm{net}_k^{(n)} > 0, \\ f\left(\mathrm{net}_k^{(n-1)}\right), & \mathrm{net}_k^{(n)} = 0, \\ -1, & \mathrm{net}_k^{(n)} < 0. \end{cases}$$

В асинхронном режиме вместо (Н.1) имеем

$$\mathrm{net}_k^{(n)} = \sum_{j=1}^{k-1} w_{jk} y_j^{(n)} + \sum_{j=k+1}^{K} w_{jk} y_j^{(n-1)}, \quad y_k^{(n)} = f\left(\mathrm{net}_k^{(n)}\right), \quad k = 1, 2, \ldots, K. \qquad (7.2)$$

Рассмотрим пример

Собственно пример

Нарисуем входные матрицы-«числа»

«1»

-1	1	-1
1	1	-1
-1	1	-1
-1	1	-1
1	1	1

«2»

1	1	1
-1	-1	1
1	1	1
1	-1	-1
1	1	1

«3»

1	1	1
-1	-1	1
1	1	1
-1	-1	1
1	1	1

Запишем их в виде векторов

$$X^{(1)} = (-1,1,-1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,-1,-1,-1,1),$$
$$X^{(2)} = (1,-1,1,1,1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,-1,1),$$
$$X^{(3)} = (1,-1,1,-1,1,1,-1,1,-1,1,1,1,1,1,1).$$

Пример

В соответствии с формулой

$$W = \left(\sum_{l=1}^{3} X^{(l)\mathrm{T}} X^{(l)} \right)',$$

Рассчитаем матрицу весов:

$$W = \begin{pmatrix}
0 & -3 & 3 & 1 & 1 & 1 & -3 & 1 & -3 & 1 & 3 & 3 & 3 & 1 & 1 \\
-3 & 0 & -3 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & 3 & -1 & -3 & -3 & -3 & -1 & -1 \\
3 & -3 & 0 & 1 & 1 & 1 & -3 & 1 & -3 & 1 & 3 & 3 & 3 & 1 & 1 \\
1 & -1 & 1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\
1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 3 & -1 & 3 & -1 & 3 & 1 & 1 & 1 & -1 & 3 \\
1 & -1 & 1 & -1 & 3 & 0 & -1 & 3 & -1 & 3 & 1 & 1 & 1 & -1 & 3 \\
-3 & 3 & -3 & -1 & -1 & -1 & 0 & -1 & 3 & -1 & -3 & -3 & -3 & -1 & -1 \\
1 & -1 & 1 & -1 & 3 & 3 & -1 & 0 & -1 & 3 & 1 & 1 & 1 & -1 & 3 \\
-3 & 3 & -3 & -1 & -1 & -1 & 3 & -1 & 0 & -1 & -3 & -3 & -3 & -1 & -1 \\
1 & -1 & 1 & -1 & 3 & 3 & -1 & 3 & -1 & 0 & 1 & 1 & 1 & -1 & 3 \\
3 & -3 & 3 & 1 & 1 & 1 & -3 & 1 & -3 & 1 & 0 & 3 & 3 & 1 & 1 \\
3 & -3 & 3 & 1 & 1 & 1 & -3 & 1 & -3 & 1 & 3 & 0 & 3 & 1 & 1 \\
3 & -3 & 3 & 1 & 1 & 1 & -3 & 1 & -3 & 1 & 3 & 3 & 0 & 1 & 1 \\
1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & -1 \\
1 & -1 & 1 & -1 & 3 & 3 & -1 & 3 & -1 & 3 & 1 & 1 & 1 & -1 & 0
\end{pmatrix}$$

’ – операция обнуления главной диагонали

Итог

Поочередно подадим на вход все вектора:

$$f\left(X^{(l)}W\right)=X^{(l)},\quad l=1,2,3.$$

Убеждаемся что НС распознает знакомые ей образы

Подадим на вход искаженный образ «1»

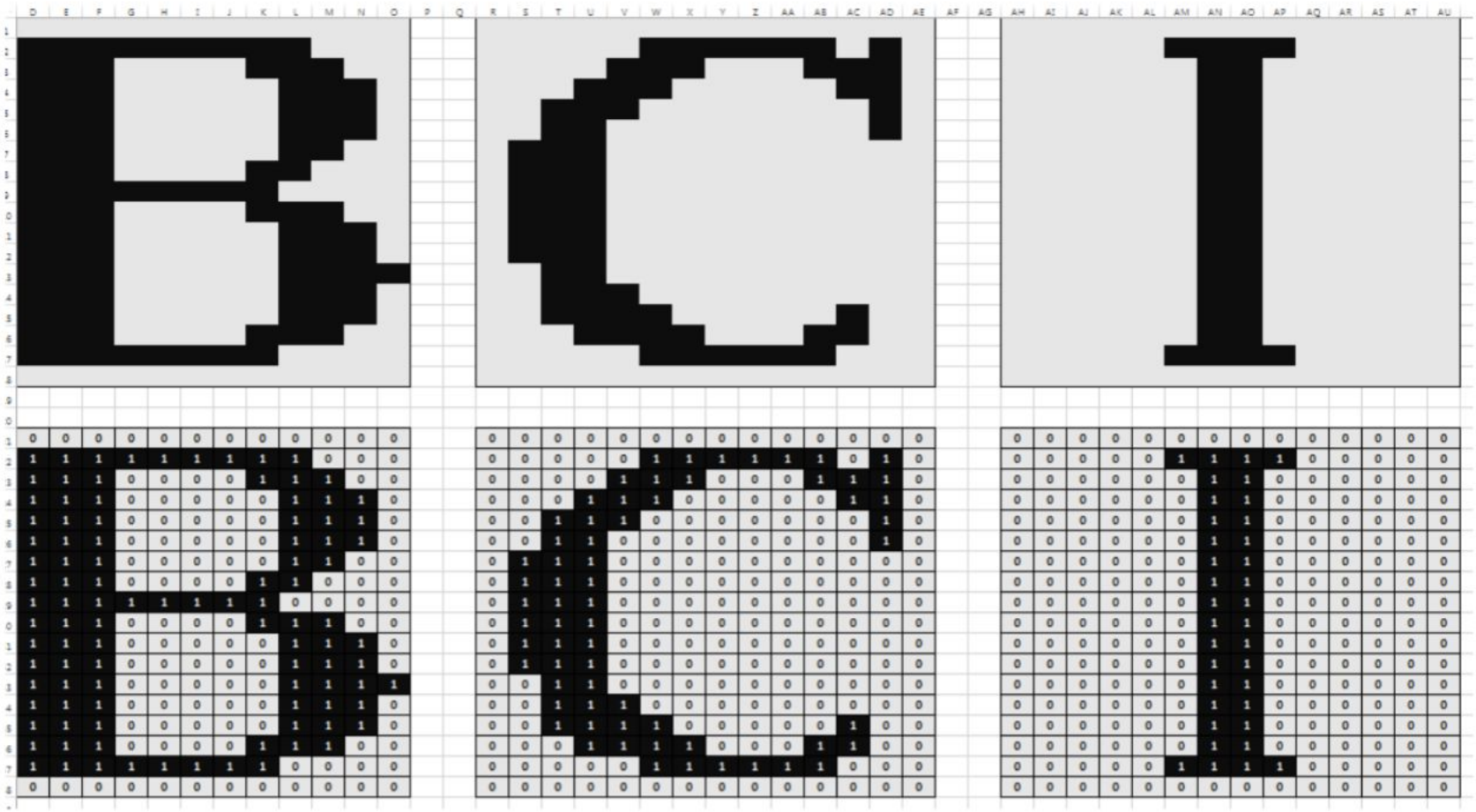
$$\tilde{X}^{(1)}=\left(-1,-1,1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,-1,-1,-1,1\right).$$

НС верно определила исходный образ

$$f\left(\tilde{X}^{(1)}W\right)=X^{(1)}.$$

Создадим свою Нейросеть

Входные данные



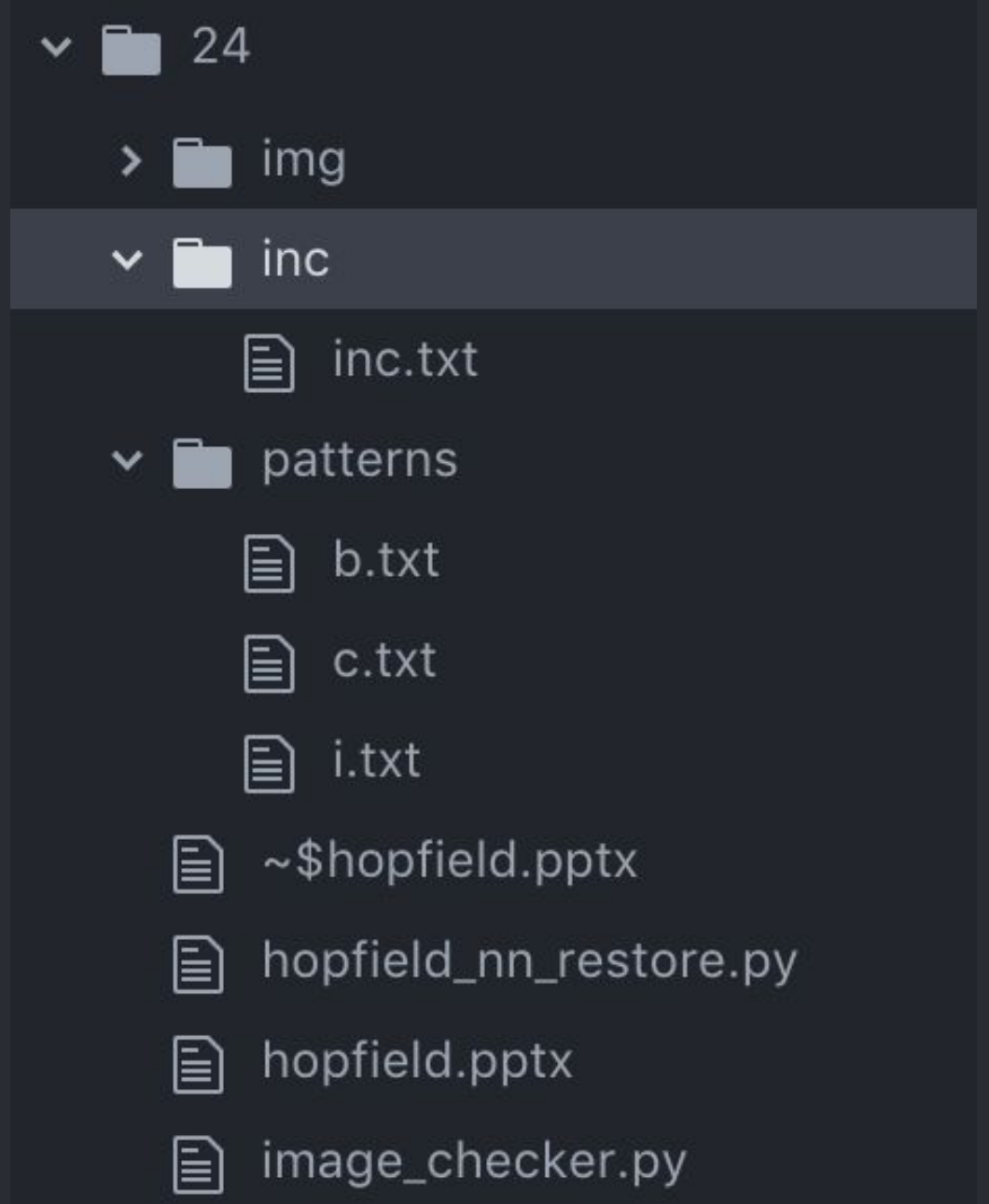
Входные данные

x[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. -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. 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. -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. 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. -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.]

x[2] = [-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. 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. -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. -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. -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. -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.]

x[3] = [-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. -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. 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. -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. -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. -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.]

Структура проекта



Код программы

```python
if __name__ == '__main__':

    import numpy as np
    from functools import reduce
    from os import listdir
    from os.path import isfile, join

    # Достаем все файлы из папки patterns
    names = [f for f in listdir('patterns') if isfile(join('patterns', f))]
    print(f'\n* Список файлов в дирректории patterns: \n{names}\n')

    # Создаем массив входных веткоров
    input_vectors, len_line = read_in_file(names, 'patterns/')
    print_pattern(input_vectors, names, len_line)

    #  Создаем матрицуесовых коэффициентов
    W = calc_W(input_vectors)
    print(f'\n* Матрица весовых коэффициентов: {W}')

    #  Подадим искаженный образ
    inc_name = [f for f in listdir('inc') if isfile(join('inc', f))]
    inc_vector, len_line = read_in_file(inc_name, 'inc/')
    print_pattern(inc_vector, inc_name, len_line)

    # Распознаем образ
    testing(inc_vector[0], W, input_vectors, len_line)
```

Go!

Go!

Go!

Go!

Go!

Вывод на экран

```
# Достаем все файлы из папки patterns
names = [f for f in listdir('patterns') if isfile(join('patterns', f))]
print(f'\n* Список файлов в дирректории patterns: \n{names}\n')
```

```
* Список файлов в дирректории patterns:
['i.txt', 'c.txt', 'b.txt']
```

Home

Код программы

```
def read_in_file(names, dir):

    # Создаем пустой массив
    input_vector = []

    for name in names:

        # Создаем массив строк из файла до переноса
        path = dir + name
        vector = list()
        with open(path) as file_object:
            for line in file_object:
                line = line.rstrip('\n')
                vector.append(line)

        # Превращаем полученный массив в строку
        new_vector = reduce((lambda x, y: x + y), vector)

        # Создаем массив нулей размера входной матрицы и заполняем
        # в соответсвии с заданными условиями
        v = np.empty(len(new_vector))
        for i in range(len(new_vector)):
            if new_vector[i] == '0':
                v[i] = -1
            else:
                v[i] = 1
        input_vector.append(v)

    # Добавляем значения каждой матрицы в общий массив
    input_vector = np.asarray(input_vector)
    return input_vector, len(line)
```

Код программы

```
# Функция для красивого вывода образ на экран
def print_pattern(pattern, name, ll):

    for i, elem in enumerate(pattern):
        print(f"\npattern: {name[i].replace('.txt', '').upper()}")
        img = ''
        for num, j in enumerate(elem):
            if num % ll == 0:
                img += '\n'
            if j == -1.:
                img += '0'
            elif j == 1.:
                img += '1'
        print(img)
```

Вывод на экран

```
# Создаем массив входных веткоров
input_vectors, len_line = read_in_file(names, 'patterns/')
print_pattern(input_vectors, names, len_line)
```

```
pattern: I

00000000000000
00000111100000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000011000000
00000111100000
00000000000000
```

```
pattern: C

00000000000000
00000111111010
00001110001110
00011100000110
00111000000010
00110000000010
01110000000000
01110000000000
01110000000000
01110000000000
01110000000000
01110000000000
00110000000000
00111000000000
00111100000100
00011110001100
00000111111000
00000000000000
```

```
pattern: B

00000000000000
11111111111000
00111000011100
00111000001110
00111000001110
00111000001110
00111000001100
00111000011000
00111111110000
00111000011100
00111000001110
00111000001110
00111000001111
00111000001110
00111000001110
00111000011100
11111111110000
00000000000000
```

Home

Код программы

```
def calc_W(input_vector):

    n = len(input_vector[0])
    m = len(input_vector)
    W = np.zeros((n, n))

    for l in range(m):
        W += input_vector[l]*transpose(input_vector[l])

    for i in range(n):
        for j in range(n):
            if i == j:
                W[i, j] = 0

    return W
```

Вывод на экран

```python
#  Создаем матрицуесовых коэффициентов
W = calc_W(input_vectors)
print(f'\n* Матрица весовых коэффициентов: {W}')
```

```
* Матрица весовых коэффициентов: [[0. 3. 3. ... 3. 3. 3.]
 [3. 0. 3. ... 3. 3. 3.]
 [3. 3. 0. ... 3. 3. 3.]
 ...
 [3. 3. 3. ... 0. 3. 3.]
 [3. 3. 3. ... 3. 0. 3.]
 [3. 3. 3. ... 3. 3. 0.]]
```

Home

Вывод на экран

```
#  Подадим искаженный образ
inc_name = [f for f in listdir('inc') if isfile(join('inc', f))]
inc_vector, len_line = read_in_file(inc_name, 'inc/')
print_pattern(inc_vector, inc_name, len_line)
```

```
pattern: INC

00000000000000
00111100011000
00111000011100
00001000001110
10111000001000
00111000001110
00111011001100
00111000011000
00000001110000
00111000011100
00111011001100
00111110001110
00111000001111
00111011001000
00111000001110
00111000011100
11111001110000
00000000000000
```

Home

Код программы

```
def testing(inc_vector, W, input_vector, ll):

    n = len(inc_vector)
    net = np.empty(n)

    for k in range(n):
        for j in range(n):
            net[k] += W[j, k]*inc_vector[j]

        if net[k] > 0: net[k] = 1
        if net[k] < 0: net[k] = -1
        if net[k] == 0: net[k] = inc_vector[k]

    # Тестирование на соответсвие известным векторам
    m = len(input_vector)
    num = 0
    for i in range(m):
        if np.array_equal(input_vector[i], net) == True:
            num = i + 1

    if num == 1: word = 'I'
    elif num == 2: word = 'C'
    elif num == 3: word = 'B'

    if num != 0:
        print_pattern([net], ['restored'], ll)
        print('\nВосстановленному образцу соответсвует образец: "', word,'"\n')
    else:
        print('\nВосстановить образ не удалось!')
```

Вывод на экран

```
# Распознаем образ
testing(inc_vector[0], W, input_vectors, len_line)
```

```
pattern: RESTORED

00000000000000
11111111111000
00111000011100
00111000001110
00111000001110
00111000001110
00111000001100
00111000011000
00111111110000
00111000011100
00111000001110
00111000001110
00111000001111
00111000001110
00111000001110
00111000011100
11111111110000
00000000000000

Восстановленному образцу соответсвует образец: " B "
```

Home

Библиотека Pillow

Код программы

```
from os import listdir
from os.path import isfile, join
from PIL import Image
from hopfield_nn_restore import read_in_file

names = [f for f in listdir('patterns') if isfile(join('patterns', f))]

input_vector = []
for name in names:

    path = 'patterns/' + name
    vector = list()
    with open(path) as file_object:
        for line in file_object:
            line = line.rstrip('\n')
            vector.append(line)
    input_vector.append(vector)

for i, elem in enumerate(input_vector):
    background = Image.new('RGBA', (len(elem[0]), len(vector)), (255, 255, 255, 255))
    width, height = background.size

    for x in range(height):
        for y in range(width):

            if elem[x][y] == '1':
                img = Image.new('RGB', (1, 1), color = (0, 0, 0))
                background.paste(img, (y, x))
            if elem[x][y] == '0':
                img = Image.new('RGB', (1, 1), color = (255, 255, 255))
                background.paste(img, (y, x))


    background.save(f'img/img_{name[i]}.png')
```

Результаты выполнения

Потому что
18x14 px
¯_(ツ)_/¯

Код и презентация доступны по ссылке:

https://github.com/SITIS-project/24

Спасибо за внимание!