

# **Звіт до лабораторної роботи №5**

## **Тема: «нейромережа Хопфілда»**

### **Завдання**

1. Створити матрицю ваг нейромережі Хопфілда (НМХ), яка „пам’ятає” образи трьох створених символів (літера, цифра). Навести таблицю матриці ваг НМХ. Перевірити „пам’ять” НМ Хопфілда за допомогою матричної операції перемноження матриці вхідних спотворених образів на матрицю вагових коефіцієнтів ( $XW$ ). Функція активації порогова. Навести результати реконструкції образу символів після кожної ітерації. Представити графічне зображення символів після кожної ітерації.
2. Створити нейромережу Хопфілда засобами функцій у MATLAB. Проілюструвати вікнами користувача поітераційний процес реконструкції образу у MATLAB NNT. Описати процедуру отримання результату.
3. Дослідити вплив функції активації на результат.
4. Порівняти результат з п.1.

### **Виконання**

В межах даної ЛР було створено програму, що здатна опрацьовувати символи, що задуються їй в ексель файлі. Система обчислює вагові коефіцієнти, та потім використовує їх для відновлення символів.

Відновлення продемонстровано двома способами:

1. Одиничним проходженням – це тоді коли відновлений вектор є матричним добутком вагових коефіцієнтів на зашумлений вектор.
1. Циклічним проходженням (нейромережа Хопфілда) – це тоді коли зашумлений вектор циклічно подається на вхід НМ. Таким чином, з кожною ітерацією, вектор все більше відновлюється.

Зазначу, що під час своєї роботи, програма виводить дані в файл output.xlsx.

Для того, щоб зрозуміти, які дані знаходяться на якій сторінці Ексел файлу, слід читати коментарі до цієї частини програми:

```
# ----- Для звіту ----- Start

# Створюю вектори символів
# Дні беруться з ексель файлу input.xlsx.
vector_1, vector_2, vector_3 = get_symbols(path_i)

# Створюю матрицю, що містить оригінальні та зашумлені вектори.
# По 254 зашумлені вектори на символ + 1 оригінал. Це 225 на символ. На 3 символи це 675 векторів.
# Дані будуть виведені на сторінці "NM" (файл - output.xlsx)
NM = create_noise_matrix(path_o, workbook, 'NM', (vector_1,vector_2,vector_3))

# Створюю матрицю, що вказує на те чим є замулений вектор.
# Ця матриця буде використовуватись для перевірок та навчання
# Дані будуть виведені на сторінці "NM_ans" (файл - output.xlsx)
NM_ans = create_target_ans_for_noise_matrix(path_o, workbook, 'NM_ans')

# Створюю матрицю з векторів символів.
# Ці матриці будуть використані при створенні матриці вагів
# Дані будуть виведені на сторінці "XTX №x" (файл - output.xlsx)
XTX_1 = get_XTX(path_o, workbook, 'XTX №1', vector_1)
XTX_2 = get_XTX(path_o, workbook, 'XTX №2', vector_2)
XTX_3 = get_XTX(path_o, workbook, 'XTX №3', vector_3)

# Створюю матрицю вагів
# Дані будуть виведені на сторінці "W" (файл - output.xlsx)
W = get_W(path_o, workbook, 'W', (XTX_1,XTX_2,XTX_3))

# Розділяю матрицю зашумлених векторів на три частина
# Кожна частину містить вектори, що відносяться до певного символу
NM_1 = NM[0:225]
NM_2 = NM[225:450]
NM_3 = NM[450:675]

# Відновлюю вектори образи та рахую кількість неправильно відновлених векторів.
# Неправильно відновленим вектором вважається такий, в якого хоча б одна клітинка є
# неправильною
# Дані будуть виведені на сторінці "Rx" (файл - output.xlsx)
restoration(path_o, workbook, 'R1', W, NM_1, vector_1)
restoration(path_o, workbook, 'R2', W, NM_2, vector_2)
restoration(path_o, workbook, 'R3', W, NM_3, vector_3)

# Тепер відновлюю зображення за допомогою самотушки написаної нейромережі Хопфілда
# Математичний принцип такий ж само як в попередній функції, тільки тепер, вихідні данні -
# - можуть в циклі передаватись на вхід.
# Таким чином, можна поступово покращувати якість відновлення.
# Дані будуть виведені на сторінці "Hx" (файл - output.xlsx)
hopfield_recall(path_o, workbook, 'H1', W, NM_1, vector_1, 3)
hopfield_recall(path_o, workbook, 'H2', W, NM_2, vector_2, 3)
hopfield_recall(path_o, workbook, 'H3', W, NM_3, vector_3, 3)

# ----- Для звіту ----- End
```

Ось приклад запуску програми для таких вхідних даних:

The screenshot shows the Microsoft Excel interface. The ribbon is set to 'Главная' (Home). The spreadsheet contains a repeating pattern of 1s and -1s in columns A, B, C, and D. The pattern is as follows:

	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	-1	-1	1	-1
3	-1	-1	1	-1
4	-1	-1	1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	-1	-1	1	-1
7	-1	-1	1	-1
8				
9				
10				
11	-1	1	1	-1
12	1	-1	-1	1
13	-1	-1	1	-1
14	-1	1	1	-1
15	-1	1	-1	-1
16	1	-1	-1	-1
17	1	1	1	1
18				
19				
20				
21	1	1	1	1
22	-1	-1	-1	1
23	-1	-1	-1	1
24	1	1	1	1
25	-1	-1	-1	1
26	-1	-1	-1	1
27	1	1	1	1
28				
29				

The status bar at the bottom shows 'symbols'.

Автоматично згенерована матриця, що містить оригінальні вектори, та по 224 зашумлених їх варіанти:

Спеціальні матриці. Вони є проміжним результатом при обчисленні матриці вагових коефіцієнтів.

output.xlsx - Excel

ФайлГлавнаяВставкаРазметка страницыФормулыДанныеРецензированиеВидСправка

Что вы хотите сделать?

Буфер обмена

Шрифт

Выравнивание

Число

Стили

Общий

Ословное форматирование

Форматировать как таблицу

Стили ячеек

Вставить У

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	
1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-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	-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	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
4	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
5	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
6	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
7	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
8	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
9	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
10	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
11	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
12	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
13	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
14	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
15	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
16	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
17	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
18	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
19	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
20	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
21	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
22	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
23	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
24	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
25	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
26	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
27	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
28	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		
29	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	1		
30																											
31																											
32																											
33																											
34																											
35																											
36																											
37																											
38																											
39																											
40																											
41																											
Sheet NM NM_ans XTX №1 XTX №2 XTX №3 W R1 R2 R3 H1 H2 H3																											

Ось і сама матриця вагів:

output.xlsx - Excel

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Справка Что вы хотите сделать?

Вставить

Буфер обмена

Шрифт

Выравнивание

Число

Общий

Условное форматирование

Форматировать как таблицу

Стили

Вставить Удалить Формат

Ячейки

A1

0

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC
1	0	1	1	3	-3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	1	-1	-3	1	1	-3	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	
2	1	0	3	1	-1	-3	-1	1	-3	-3	1	-1	-1	1	3	-1	-3	-1	-1	-1	-3	-1	-1	1	1	3	1	
3	1	3	0	1	-1	-3	-1	1	-3	-3	1	-1	-1	1	3	-1	-3	-1	-1	-1	-3	-1	-1	1	1	3	1	
4	3	1	1	0	-3	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-3	1	1	-3	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	
5	-3	-1	-1	-3	0	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	3	-1	-1	3	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	
6	-1	-3	-3	-1	1	0	1	-1	3	3	-1	1	1	-1	-3	1	3	1	1	1	3	1	1	-1	-1	-3	-1	
7	1	-1	-1	1	-1	1	0	-3	1	1	1	-1	-1	-3	-1	-1	1	-1	3	-1	-1	1	3	-1	-3	-1	-3	
8	-1	1	1	-1	1	-1	-3	0	-1	-1	-1	1	3	1	1	-1	1	-3	1	1	-1	-3	1	3	3	1	3	
9	-1	-3	-3	-1	1	3	1	-1	0	3	-1	1	1	-1	-3	1	3	1	1	1	1	3	1	-1	-1	-3	-1	
10	-1	-3	-3	-1	1	3	1	-1	3	0	-1	1	1	-1	-3	1	3	1	1	1	1	3	1	1	-1	-1	-3	
11	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	0	-3	-3	-1	1	-3	-1	1	1	-3	1	-1	1	-3	-1	-1	-1	
12	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	-3	0	3	1	-1	3	1	-1	-1	3	-1	1	-1	3	1	1	-1	
13	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-3	0	1	-1	3	1	-1	-1	3	-1	1	-1	3	1	1	-1	1	
14	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-3	3	-1	-1	-1	1	1	0	1	-1	1	-3	1	1	-1	-3	1	3	1	
15	1	3	3	1	-1	-3	-1	1	-3	-3	1	-1	-1	1	0	-1	-3	-1	-1	-1	-3	-1	-1	1	1	3	1	
16	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-3	3	3	1	-1	0	1	-1	1	3	-1	1	-1	3	1	-1	-1	
17	-1	-3	-3	-1	1	3	1	-1	3	3	-1	1	1	-1	-3	1	0	1	1	1	3	1	1	-1	-1	-3	-1	
18	-3	-1	-1	-3	3	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	0	-1	-1	3	-1	-1	-1	1	1	-1	1	
19	1	-1	-1	1	-1	1	3	-3	1	1	1	-1	-1	-3	-1	-1	1	-1	0	-1	-1	1	3	-1	-3	-1	-3	
20	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	-3	3	3	1	-1	3	1	-1	-1	0	-1	1	-1	3	1	1	-1	
21	-3	-1	-1	-3	3	1	-1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	3	-1	-1	0	1	-1	-1	1	-1	1	
22	-1	-3	-3	-1	1	3	1	-1	3	3	-1	1	1	-1	-3	1	3	1	1	1	1	0	1	1	-1	-1	-3	
23	1	-1	-1	1	-1	1	3	-3	1	1	1	-1	-1	-3	-1	-1	1	-1	3	-1	-1	0	-1	-3	-3	-1	-3	
24	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-3	3	3	1	-1	3	1	-1	1	3	-1	-1	0	1	1	-1	1	
25	-1	1	1	-1	1	-1	-3	3	1	-1	-1	1	3	1	1	-1	1	-3	1	1	-1	-3	1	0	3	1	3	
26	-1	1	1	-1	1	-1	-3	3	-1	-1	-1	1	1	3	1	1	-1	1	-3	1	1	-1	-3	1	3	0	1	
27	1	3	3	1	-1	-3	-1	1	-3	-3	1	-1	-1	1	3	-1	-3	-1	-1	-1	-1	-3	-1	-1	1	1	0	
28	-1	1	1	-1	1	-1	-3	3	-1	-1	-1	1	1	3	1	1	-1	1	-3	1	1	-1	-3	1	3	1	0	
29																												
30																												
31																												
32																												
33																												
34																												
35																												
36																												
37																												
38																												
39																												
40																												
41																												

Sheet NM NM\_ans TXX №1 TXX №2 TXX №3 W R1 R2 R3 H1 H2 H3

Далі продемонстровано відновлення векторів першим способом, коли ті одноразово множаться на матрицю вагових коефіцієнтів. Перша колонка це зашумлений вектор, що надійшов на НМ, друга колонка, це результат відновлення. В замальованій червоним кольором клітинці, відображається відсоток неправильно відновлених векторів. Неправильно відновленим вектор вважається тоді, коли хоча б одне число не відповідає оригінальному (не зашумленому) вектору.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1	1	1	1		23	27	27	23		Кількість помилок - 12 %	
2	-1	-1	1	-1		-23	-27	23	-23			
3	-1	-1	1	-1		-27	-27	27	-27			
4	-1	-1	1	-1		-27	-23	27	-27			
5	-1	-1	1	-1		-27	-23	23	-27			
6	-1	-1	1	-1		-23	-27	23	-27			
7	-1	-1	1	-1		-23	-23	27	-23			
8												
9												
10	-1	1	1	1		23	25	25	17			
11	-1	-1	1	-1		-17	-25	21	-21			
12	-1	-1	1	-1		-25	-25	29	-29			
13	-1	-1	1	-1		-29	-21	25	-29			
14	-1	-1	1	-1		-25	-17	21	-29			
15	-1	-1	1	-1		-17	-25	21	-29			
16	-1	-1	1	-1		-21	-21	25	-21			
17												
18												
19	1	-1	1	1		21	27	21	21			
20	-1	-1	1	-1		-21	-21	25	-25			
21	-1	-1	1	-1		-21	-21	25	-25			
22	-1	-1	1	-1		-25	-25	21	-25			
23	-1	-1	1	-1		-21	-21	25	-25			
24	-1	-1	1	-1		-21	-21	25	-25			
25	-1	-1	1	-1		-25	-25	21	-25			
26												
27												
28	1	1	-1	1		21	21	27	21			
29	-1	-1	1	-1		-21	-21	25	-25			

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	-1	1	1	-1		-17	33	33	-17		Кількість помилок - 5 %		
2	1	-1	-1	1		17	-33	-29	29				
3	-1	-1	1	-1		-33	-33	21	-21				
4	-1	1	1	-1		-21	29	33	-21				
5	-1	1	-1	-1		-33	17	-29	-21				
6	1	-1	-1	-1		17	-33	-29	-21				
7	1	1	1	1		29	29	33	29				
8													
9													
10	1	1	1	-1		-17	35	35	-11				
11	1	-1	-1	1		11	-35	-27	27				
12	-1	-1	1	-1		-35	-35	19	-19				
13	-1	1	1	-1		-19	27	35	-19				
14	-1	1	-1	-1		-35	11	-27	-19				
15	1	-1	-1	-1		11	-35	-27	-19				
16	1	1	1	1		27	27	35	27				
17													
18													
19	-1	-1	1	-1		-19	33	27	-19				
20	1	-1	-1	1		19	-27	-27	27				
21	-1	-1	1	-1		-27	-27	19	-19				
22	-1	1	1	-1		-19	27	27	-19				
23	-1	1	-1	-1		-27	19	-27	-19				
24	1	-1	-1	-1		19	-27	-27	-19				
25	1	1	1	1		27	27	27	27				
26													
27													
28	-1	1	-1	-1		-19	27	33	-19				
29	1	-1	-1	1		19	-27	-27	27				

Буфер обмена															
Шрифт															
Выравнивание															
Число															
Стили															
Ячейки															
Редактирование															
A1															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L			
1	1	1	1	1		19	31	31	19		Кількість помилок - 11 %				
2	-1	-1	-1	1		-19	-31	-31	31						
3	-1	-1	-1	1		-31	-31	-19	19						
4	1	1	1	1		19	31	31	19						
5	-1	-1	-1	1		-31	-19	-31	19						
6	-1	-1	-1	1		-19	-31	-31	19						
7	1	1	1	1		31	31	31	31						
8															
9															
10	-1	1	1	1		19	29	29	13						
11	-1	-1	-1	1		-13	-29	-33	33						
12	-1	-1	-1	1		-29	-29	-17	17						
13	1	1	1	1		17	33	29	17						
14	-1	-1	-1	1		-29	-13	-33	17						
15	-1	-1	-1	1		-13	-29	-33	17						
16	1	1	1	1		33	33	29	33						
17															
18															
19	1	-1	1	1		17	31	25	17						
20	-1	-1	-1	1		-17	-25	-29	29						
21	-1	-1	-1	1		-25	-25	-21	21						
22	1	1	1	1		21	29	25	21						
23	-1	-1	-1	1		-25	-17	-29	21						
24	-1	-1	-1	1		-17	-25	-29	21						
25	1	1	1	1		29	29	25	29						
26															
27															
28	1	1	-1	1		17	25	31	17						
29	-1	-1	-1	1		-17	-25	-29	29						
Sheet NM NM_ans XTX №1 XTX №2 XTX №3 W R1 R2 R3 H1 H2 H3															

Далі продемонстровано відновлення векторів другим способом, тобто тоді коли вони подавались на вхід нейромережі. Зеленим кольором – колонка зашумлених векторів, всі інші колонки це результати роботи НМ на різних циклах.

Буфер обмена															
Шрифт															
Выравнивание															
Число															
Стили															
Ячейки															
Редактирование															
A1															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	-1	-1	-1	-1				25	27	27	25	Кількість помилок - 11 %			31
2	-1	-1	-1	-1				-25	-27	-27	-25				-31
3	-1	-1	-1	-1				-27	-27	27	-27				-33
4	-1	-1	-1	-1				-27	-33	27	-27				-31
5	-1	-1	-1	-1				-27	-33	25	-27				-31
6	-1	-1	-1	-1				-25	-27	23	-27				-17
7	-1	-1	-1	-1				-25	-25	27	-25				-19
8															
9															
10	-1	-1	-1	-1				25	25	25	17				25
11	-1	-1	-1	-1				-17	-25	21	-21				-23
12	-1	-1	-1	-1				-25	-35	39	-39				-27
13	-1	-1	-1	-1				-29	-21	25	-29				-27
14	-1	-1	-1	-1				-25	-17	21	-29				-27
15	-1	-1	-1	-1				-17	-35	31	-39				-29
16	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-21				-23
17															
18															
19	-1	-1	-1	-1				31	37	21	21				25
20	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-23
21	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-27
22	-1	-1	-1	-1				-25	-25	21	-25				-27
23	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-27
24	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-23
25	-1	-1	-1	-1				-25	-25	21	-25				-23
26															
27															
28	-1	-1	-1	-1				21	21	27	21				25
29	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-23
30	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-27
31	-1	-1	-1	-1				-25	-25	21	-25				-27
32	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-27
33	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-23
34	-1	-1	-1	-1				-25	-25	21	-25				-23
35	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-27
36	-1	-1	-1	-1				-21	-21	25	-25				-23
37	-1	-1	-1	-1				-25	-25	21	-25				-23
38															
39															
40	-1	-1	-1	-1				21	25	25	23				23
41	-1	-1	-1	-1				-21	-25	25	-23				-23
Sheet NM NM_ans XTX №1 XTX №2 XTX №3 W R1 R2 R3 H1 H2 H3															

A1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
1	-1	-1	-1	1			19	31	31	19	Точність символів: 11%			7	27	27	7	Точність символів: 11%			19	31	31	19	Точність символів: 11%
2	-1	-1	-1	1			-19	-31	-31	31				-7	-27	-35	35				-19	-31	-31	31	
3	-1	-1	-1	1			-31	-31	-19	19				-27	-27	-15	15				-31	-31	-19	19	
4	1	1	1	1			19	31	31	19				15	35	27	15				19	31	31	19	
5	-1	-1	-1	1			-31	-19	-31	19				-27	-15	-35	15				-31	-19	-31	19	
6	-1	-1	-1	1			-19	-31	-31	19				-15	-27	-35	15				-19	-31	-31	19	
7	1	1	1	1			31	31	31	31				35	35	27	35				31	31	31	31	
8																									
9																									
10																									
11	-1	1	1	1	1		19	29	29	13				19	31	31	19				19	31	31	19	
12	-1	-1	-1	1	1		-15	-29	-33	33				-19	-31	-31	31				-19	-31	-31	31	
13	-1	-1	-1	1	1		-29	-29	-17	17				-31	-31	-19	19				-31	-31	-19	19	
14	1	1	1	1	1		17	33	29	17				19	31	31	19				19	31	31	19	
15	-1	-1	-1	1	1		-29	-13	-33	17				-31	-19	-31	19				-31	-19	-31	19	
16	-1	-1	-1	1	1		-13	-29	-33	17				-19	-31	-31	19				-19	-31	-31	19	
17	1	1	1	1	1		33	33	29	33				31	31	31	31				31	31	31	31	
18																									
19																									
20																									
21	-1	-1	-1	1	1		17	31	25	17				19	31	31	19				19	31	31	19	
22	-1	-1	-1	1	1		-17	-25	-29	29				-19	-31	-31	31				-19	-31	-31	31	
23	-1	-1	-1	1	1		-25	-25	-21	21				-31	-31	-19	19				-31	-31	-19	19	
24	1	1	1	1	1		21	29	25	21				19	31	31	19				19	31	31	19	
25	-1	-1	-1	1	1		-25	-17	-29	21				-31	-19	-31	19				-31	-19	-31	19	
26	-1	-1	-1	1	1		-17	-25	-29	21				-19	-31	-31	19				-19	-31	-31	19	
27	1	1	1	1	1		29	29	25	29				31	31	31	31				31	31	31	31	
28																									
29																									
30																									
31	1	1	-1	-1	1		17	25	31	17				19	31	31	19				19	31	31	19	
32	-1	-1	-1	1	1		-17	-25	-29	29				-19	-31	-31	31				-19	-31	-31	31	
33	-1	-1	-1	1	1		-25	-25	-21	21				-31	-31	-19	19				-31	-31	-19	19	
34	1	1	1	1	1		21	29	25	21				19	31	31	19				19	31	31	19	
35	-1	-1	-1	1	1		-25	-17	-29	21				-31	-19	-31	19				-31	-19	-31	19	
36	-1	-1	-1	1	1		-17	-25	-29	21				-19	-31	-31	19				-19	-31	-31	19	
37	1	1	1	1	1		29	29	25	29				31	31	31	31				31	31	31	31	
38																									
39																									
40																									
41	1	1	1	1	-1		13	29	29	19				19	31	31	19				19	31	31	19	

Можна побачити, що для абсолютно відного відновлення всіх 673 зашумлених векторів, знадобилось лише 2 ітерації.

## Висновок

Для виконання даної ЛР, я створив програму, що складається з багатьох скриптів. Використовуючи знання з нейромерж, в тому числі була реалізована НМ Хопфілда. Для нейромережі було обраховано матрицю вагових коефіцієнтів, а сама НМ була використана для відновлення зашумлених векторів зображень трьох символів. Вже на другій ітерації точність була стовідсоткова.

Кроки роботи програми виведені для перегляду в зручному форматі. Вважаю лабораторну роботу успішно виконаною.