

Implementacja Sieci Hopfielda

Autorzy:

Paweł Mazur
Piotr Mazur

Spis treści

1. Analityczne działanie Sieci Hopfielda.....	3
1.1 Tryb synchroniczny z unipolarną funkcją aktywacji.....	3
1.2 Tryb synchroniczny z bipolarną funkcją aktywacji.....	6
1.3 Tryb asynchroniczny z unipolarną funkcją aktywacji.....	9
1.4 Tryb asynchroniczny z bipolarną funkcją aktywacji.....	13
2. Symulacyjne działanie Sieci Hopfielda.....	17
2.1 Tryb synchroniczny z unipolarną funkcją aktywacji.....	17
2.2 Tryb synchroniczny z bipolarną funkcją aktywacji.....	23
2.3 Tryb asynchroniczny z unipolarną funkcją aktywacji.....	28
2.4 Tryb asynchroniczny z bipolarną funkcją aktywacji.....	39
3. Zastosowanie sieci Hopfielda do rozpoznawania znaków.	51
1. Synchroniczny.....	51
1.1 Reguła Hebba.....	51
1.2 Pseudoinwersja.....	52
1.3 Pseudoinwersja.....	55
Wszystkie wektory zbieżne:	55
2. Asynchroniczny.....	58
2.1 Reguła Hebba.....	58
2.2 Pseudoinwersja.....	59
2.3 Reguła Hebba.....	63
2.4 Pseudoinwersji.....	64
4. Podsumowanie.....	68

1. Analityczne działanie Sieci Hopfielda

1.1 Tryb synchroniczny z unipolarną funkcją aktywacji

$$V = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V(0) = [0 \ 0 \ 0]'$$

$t = 1$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{wektor } V(1) = q(U(1)) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ jest punktem stałym}$$

$$V(0) = [0 \ 0 \ 1]'$$

$t = 1$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 \\ 2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$t = 2$$

$$U(2) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & [-1] \\ 1 & [0] \\ 0 & [2] \end{bmatrix}, \quad V(2) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Sieć oscyluje pomiędzy dwoma punktami

$$[0] \ [0]$$

$$[0], [1]$$

$$[1] \ [0]$$

czyli cykl C_1

$$V(0) = [0 \ 1 \ 1]'$$

$$t = 1$$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 & [-4] \\ 1 & [2] \\ 1 & [2] \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{wektor } V(1) = q(U(1)) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ jest punktem stałym}$$

$$V(0) = [1 \ 0 \ 0]'$$

$$t = 1$$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & [0] \\ 0 & [-1] \\ 0 & [-3] \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{wektor } V(1) = q(U(1)) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \text{ jest zbieżny do } \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V(0) = [1 \ 0 \ 1]'$$

$$t = 1$$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & [-3] \\ 0 & [1] \\ 1 & [-3] \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$
 wektor $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ wpada w cykl C_1
 $\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$

$V(0) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}'$
 $t = 1$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

wektor $V(1) = q(U(1)) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ jest zbieżny do $\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$

$V(0) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}'$
 $t = 1$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$
 wektor $\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ wpada w cykl C_1
 $\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$

1.2 Tryb synchroniczny z bipolarną funkcją aktywacji

$$\begin{array}{l}
 \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\
 V = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\
 W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V(0) = [-1 \ -1 \ -1]' \\
 t = 1$$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & -3 \\ -1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\text{wektor } V(1) = q(U(1)) = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} \text{ jest punktem stałym}$$

$$V(0) = [-1 \ -1 \ 1]' \\
 t = 1$$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & 1 \\ -1 & -2 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix} \\
 t = 2$$

$$U(2) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & -3 \\ -1 & 2 \\ -1 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad V(2) = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$t = 3$$

$$U(3) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & -3 \\ 1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad V(3) = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

wektor $\begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$ wpada w cykl oscylujący pomiędzy dwoma punktami $\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$ czyli cykl C_1

$$V(0) = [-1 \ 1 \ -1]'$$

$$t = 1$$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ 1 \\ -1 & -3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$$

wektor $V(1) = q(U(1)) = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$ jest zbieżny do $\begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}$

$$V(0) = [1 \ -1 \ 1]'$$

$$t = 1$$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

wektor $V(1) = q(U(1)) = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$ jest punktem stałym

$$V(0) = [1 \ 1 \ -1]'$$

$$t = 1$$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$ wektor $\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$ wpada w cykl oscylujący pomiędzy dwoma punktami $\begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}$, $\begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix}$ czyli cykl C_1
 $V(0) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}'$
 $t = 1$

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad * \quad \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad V(1) = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{wektor } V(1) = q(U(1)) = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix} \text{ jest zbieżny do } \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

1.3 Tryb asynchroniczny z unipolarną funkcją aktywacji

$$\begin{array}{l}
 [0\ 0\ 0] \\
 [0\ 0\ 1] \\
 [0\ 1\ 0] \\
 V = [0\ 1\ 1] \\
 [1\ 0\ 0] \\
 [1\ 0\ 1] \\
 [1\ 1\ 0] \\
 [1\ 1\ 1]
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 [0\ -1\ -3] \\
 W = [-1\ 0\ 2] \\
 [-3\ 2\ 0]
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 [0\ 1\ 2] \\
 W = [1\ 0\ -1] \\
 [2\ -1\ 0]
 \end{array}$$

Id	V	INFO
1	[0 0 0]	S
2	[0 0 1]	->7
3	[0 1 0]	->7
4	[0 1 1]	->7
5	[1 0 0]	->1
6	[1 0 1]	->7
7	[1 1 0]	S
8	[1 1 1]	->7

$$\begin{array}{l}
 V(0) = [0\ 0\ 0]' \\
 t = 1
 \end{array}$$

$$\begin{array}{l}
 [0\ 1\ 2] \\
 U(1) = [1\ 0\ -1] \\
 [2\ -1\ 0] \\
 E(1) = 0
 \end{array}
 \quad
 *
 \quad
 \begin{array}{l}
 [0] \quad [0] \quad [0] \\
 [0] = [NW], V(1) = [0] \\
 [0] \quad [NW] \quad [0]
 \end{array}$$

t = 2

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 0 & \text{[NW]} & 0 \\ 0 & = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}, V(2) = 0 \\ 0 & \text{[NW]} & 0 \end{bmatrix} \\
 U(2) = & & \\
 E(2) = 0 & & \\
 E(2) \leq E(1) & &
 \end{array}$$

t = 3

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 0 & \text{[NW]} & 0 \\ 0 & = \text{[NW]}, V(3) = 0 \\ 0 & \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} & 0 \end{bmatrix} \\
 U(3) = & & \\
 E(3) = 0 & & \\
 E(3) \leq E(2) & &
 \end{array}$$

$$V(0) = [0 \ 0 \ 1]'$$

t = 1

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 0 & \begin{bmatrix} 2 \end{bmatrix} & 1 \\ 0 & = \text{[NW]}, V(1) = 0 \\ 1 & \text{[NW]} & 1 \end{bmatrix} \\
 U(1) = & & \\
 E(1) = -2 & &
 \end{array}$$

t = 2

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 1 & \text{[NW]} & 1 \\ 0 & = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}, V(2) = 0 \\ 1 & \text{[NW]} & 1 \end{bmatrix} \\
 U(2) = & & \\
 E(2) = -2 & & \\
 E(2) \leq E(1) & &
 \end{array}$$

t = 3

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 1 & \text{[NW]} & 1 \\ 0 & = \text{[NW]}, V(3) = 0 \\ 1 & \begin{bmatrix} 2 \end{bmatrix} & 1 \end{bmatrix} \\
 U(3) = & & \\
 E(3) = -2 & & \\
 E(3) \leq E(2) & &
 \end{array}$$

t = 4

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 1 & [& 2 &] & 1 \\ 0 & = & [NW], & V(4) = & 0 \\ 1 & [& NW &] & 1 \end{bmatrix} \\
 U(4) = & & \\
 E(4) = & -2 & \\
 E(4) \leq & E(3) &
 \end{array}$$

$$V(0) = [0 \ 1 \ 0]'$$

t = 1

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 0 & [& 1 &] & 1 \\ 1 & = & [NW], & V(1) = & 1 \\ 0 & [& NW &] & 0 \end{bmatrix} \\
 U(1) = & & \\
 E(1) = & -1 &
 \end{array}$$

t = 2

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 1 & [& NW &] & 1 \\ 1 & = & [& 1 &], & V(2) = & 1 \\ 0 & [& NW &] & 0 \end{bmatrix} \\
 U(2) = & & \\
 E(2) = & -1 & \\
 E(2) \leq & E(1) &
 \end{array}$$

t = 3

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 1 & [& NW &] & 1 \\ 1 & = & [NW], & V(3) = & 1 \\ 0 & [& 1 &] & 1 \end{bmatrix} \\
 U(3) = & & \\
 E(3) = & -2 & \\
 E(3) \leq & E(2) &
 \end{array}$$

t = 4

$$\begin{array}{lcl}
 & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} & * \begin{bmatrix} 1 & [& 3 &] & 1 \\ 1 & = & [NW], & V(4) = & 1 \\ 1 & [& NW &] & 1 \end{bmatrix} \\
 U(4) = & & \\
 E(4) = & -2 & \\
 E(4) \leq & E(3) &
 \end{array}$$

t = 6

$$U(6) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad * \quad \begin{bmatrix} 1 & & [NW] & & 1 \\ 1 & = & [& 0 &], & V(6) = [0] \\ 1 & & [NW] & & 1 \end{bmatrix}$$

$$E(6) = -2$$

$$E(6) \leq E(5)$$

$$V(0) = [0 \ 1 \ 1]'$$

t = 1

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad * \quad \begin{bmatrix} 0 & & [& 3 &] & & 1 \\ 1 & = & [NW], & V(1) = [1] \\ 1 & & [NW] & & 1 \end{bmatrix}$$

$$E(1) = -2$$

$$V(0) = [1 \ 0 \ 0]'$$

t = 1

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad * \quad \begin{bmatrix} 1 & & [& 0 &] & & 0 \\ 0 & = & [NW], & V(1) = [0] \\ 0 & & [NW] & & 0 \end{bmatrix}$$

$$E(1) = 0$$

1.4 Tryb asynchroniczny z bipolarną funkcją aktywacji

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \\ -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\
 V = & \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\
 & \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} \\
 W = & \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Id	V	INFO
1	[-1 -1 -1]	->5
2	[-1 -1 1]	->4
3	[-1 1 -1]	->5
4	[-1 1 1]	S
5	[1 -1 -1]	S
6	[1 -1 1]	->4
7	[1 1 -1]	->5
8	[1 1 1]	->4

$$\begin{aligned}
 V(0) &= [-1 \ -1 \ -1]' \\
 t &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & [& 4 &] & [& 1 &] \\ -1 & = & [NW], & V(1) = & [-1] \\ -1 & [NW] & & & [-1] \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

$$E(1) = -6$$

t = 2

$$U(2) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & [NW] & 1 \\ -1 & = [-3], & V(2) = [-1] \\ -1 & [NW] & -1 \end{bmatrix}$$

$$E(2) = -6$$

$$E(2) \leq E(1)$$

t = 3

$$U(3) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & [NW] & 1 \\ -1 & = [NW], & V(3) = [-1] \\ -1 & [-5] & -1 \end{bmatrix}$$

$$E(3) = -6$$

$$E(3) \leq E(2)$$

t = 4

$$U(4) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & [4] & 1 \\ -1 & = [NW], & V(4) = [-1] \\ -1 & [NW] & -1 \end{bmatrix}$$

$$E(4) = -6$$

$$E(4) \leq E(3)$$

$$V(0) = [-1 \ -1 \ 1]'$$

t = 1

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & [-2] & -1 \\ -1 & = [NW], & V(1) = [-1] \\ 1 & [NW] & 1 \end{bmatrix}$$

$$E(1) = 0$$

t = 2

$$U(2) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & [NW] & [-1] \\ -1 & [3] & [1] \\ 1 & [NW] & [1] \end{bmatrix}, V(2) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$E(2) = -6$$

$$E(2) \leq E(1)$$

t = 3

$$U(3) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & [NW] & [-1] \\ 1 & [NW] & [1] \\ 1 & [5] & [1] \end{bmatrix}, V(3) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$E(3) = -6$$

$$E(3) \leq E(2)$$

t = 4

$$U(4) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & [-4] & [-1] \\ 1 & [NW] & [1] \\ 1 & [NW] & [1] \end{bmatrix}, V(4) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$E(4) = -6$$

$$E(4) \leq E(3)$$

t = 5

$$U(4) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & [NW] & [-1] \\ 1 & [3] & [1] \\ 1 & [NW] & [1] \end{bmatrix}, V(4) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$V(0) = [-1 \ 1 \ -1]'$$

t = 1

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & [2] & [1] \\ 1 & [NW] & [1] \\ -1 & [NW] & [-1] \end{bmatrix}, V(1) = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$E(1) = 0$$

t = 2

$$U(2) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & [NW] & 1 \\ 1 & = [-3], & V(2) = [-1] \\ -1 & [NW] & -1 \end{bmatrix}$$

$$E(2) = -6$$

$$E(2) \leq E(1)$$

$$V(0) = [1 \ -1 \ 1]'$$

t = 1

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & [-2] & -1 \\ -1 & = [NW], & V(1) = [-1] \\ 1 & [NW] & 1 \end{bmatrix}$$

$$E(1) = 0$$

t = 2

$$U(2) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & [NW] & -1 \\ -1 & = [3], & V(2) = [1] \\ 1 & [NW] & 1 \end{bmatrix}$$

$$E(2) = -6$$

$$E(2) \leq E(1)$$

$$V(0) = [1 \ 1 \ 1]'$$

t = 1

$$U(1) = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & [-4] & -1 \\ 1 & = [NW], & V(1) = [1] \\ 1 & [NW] & 1 \end{bmatrix}$$

$$E(1) = -6$$

2. Symulacyjne działanie Sieci Hopfielda

2.1 Tryb synchroniczny z unipolarną funkcją aktywacji

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

BADANIE WEKTORA NR 1

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Wektor $V(0)$:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

KROK 1

Potencjał wejściowy $U(1)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy $V(1)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Zbieżny do:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

BADANIE WEKTORA NR 2

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Wektor $V(0)$:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

KROK 1

Potencjał wejściowy $U(1)$

$$\begin{bmatrix} -3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy $V(1)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

KROK 2

Potencjał wejściowy $U(2)$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy $V(2)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

KROK 3

Potencjał wejściowy U(3)

$$[-3 \quad 2 \quad 0]$$

Potencjał wyjściowy V(3)

$$[0 \quad 1 \quad 0]$$

KROK 4

Potencjał wejściowy U(4)

$$[-1 \quad 0 \quad 2]$$

Potencjał wyjściowy V(4)

$$[0 \quad 0 \quad 1]$$

...

BRAK ZBIEZNOŚCI!!!!

BADANIE WEKTORA NR 3

$$[0 \quad 1 \quad 0]$$

Wektor V(0):

$$[0 \quad 1 \quad 0]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[-1 \quad 0 \quad 2]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[0 \quad 0 \quad 1]$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$[-3 \quad 2 \quad 0]$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$[0 \quad 1 \quad 0]$$

KROK 3

Potencjał wejściowy U(3)

$$[-1 \quad 0 \quad 2]$$

Potencjał wyjściowy V(3)

$$[0 \quad 0 \quad 1]$$

KROK 4

Potencjał wejściowy U(4)

$$[-3 \quad 2 \quad 0]$$

Potencjał wyjściowy V(4)

$$[0 \quad 1 \quad 0]$$

...

BRAK ZBIEŻNOSCI!!!!

BADANIE WEKTORA NR 4

Wektor V(0):

$$[0 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[-4 \quad 2 \quad 2]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[0 \quad 1 \quad 1]$$

Zbieżny do:

$$[0 \quad 1 \quad 1]$$

BADANIE WEKTORA NR 5

$$[1 \quad 0 \quad 0]$$

Wektor V(0):

$$[1 \quad 0 \quad 0]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[0 \quad -1 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[0 \quad 0 \quad 0]$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$[0 \quad 0 \quad 0]$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$[0 \quad 0 \quad 0]$$

Zbieżny do:

$$[0 \quad 0 \quad 0]$$

BADANIE WEKTORA NR 6

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Wektor $V(0)$:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

KROK 1

Potencjał wejściowy $U(1)$

$$\begin{bmatrix} -3 & 1 & -3 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy $V(1)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

KROK 2

Potencjał wejściowy $U(2)$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy $V(2)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

KROK 3

Potencjał wejściowy $U(3)$

$$\begin{bmatrix} -3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy $V(3)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

KROK 4

Potencjał wejściowy $U(4)$

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy $V(4)$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

...

BRAK ZBIEZNOŚCI!!!!

BADANIE WEKTORA NR 7

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Wektor $V(0)$:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

KROK 1

Potencjał wejściowy $U(1)$

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Zbieżny do:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

BADANIE WEKTORA NR 8

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Wektor V(0):

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$\begin{bmatrix} -4 & 1 & -2 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

KROK 3

Potencjał wejściowy U(3)

$$\begin{bmatrix} -3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy V(3)

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

KROK 4

Potencjał wejściowy U(4)

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

Potencjał wyjściowy V(4)

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

KROK 5

Potencjał wejściowy U(5)

$[-3 \quad 2 \quad 0]$

Potencjał wyjściowy V(5)

$[0 \quad 1 \quad 0]$

KROK 6

Potencjał wejściowy U(6)

$[-1 \quad 0 \quad 2]$

Potencjał wyjściowy V(6)

$[0 \quad 0 \quad 1]$

...

BRAK ZBIEZNOSCI!!!!

2.2 Tryb synchroniczny z bipolarną funkcją aktywacji

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

BADANIE WEKTORA NR 1

$$[-1 \quad -1 \quad -1]$$

Wektor $V(0)$:

$$[-1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy $U(1)$

$$[-3 \quad 0 \quad -1]$$

Potencjał wyjściowy $V(1)$

$$[-1 \quad -1 \quad -1]$$

Zbieżny do:

$$[-1 \quad -1 \quad -1]$$

BADANIE WEKTORA NR 2

$$[-1 \quad -1 \quad 1]$$

Wektor $V(0)$:

$$[-1 \quad -1 \quad 1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy $U(1)$

$$[1 \quad -2 \quad -1]$$

Potencjał wyjściowy $V(1)$

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 2

Potencjał wejściowy $U(2)$

$$[-3 \quad 2 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy $V(2)$

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 3

Potencjał wejściowy $U(3)$

$$[3 \quad -2 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(3)

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 4

Potencjał wejściowy U(4)

$$[-3 \quad 2 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy V(4)

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

...

BRAK ZBIEZNOSCI!!!!

BADANIE WEKTORA NR 3

$$[-1 \quad 1 \quad -1]$$

Wektor V(0):

$$[-1 \quad 1 \quad -1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[-1 \quad 0 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[-1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$[-3 \quad 0 \quad -1]$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$[-1 \quad -1 \quad -1]$$

Zbieżny do:

$$[-1 \quad -1 \quad -1]$$

BADANIE WEKTORA NR 4

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

Wektor V(0):

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[3 \quad -2 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$[-3 \quad 2 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 3

Potencjał wejściowy U(3)

$$[3 \quad -2 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(3)

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 4

Potencjał wejściowy U(4)

$$[-3 \quad 2 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy V(4)

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

BRAK ZBIEZNOSCI!!!!

BADANIE WEKTORA NR 5

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

Wektor V(0):

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[-3 \quad 2 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$[3 \quad -2 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 3

Potencjał wejściowy U(3)

$$[-3 \quad 2 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy V(3)

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 4

Potencjał wejściowy U(4)

$$[3 \quad -2 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(4)

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

BRAK ZBIEZNOSCI!!!!

BADANIE WEKTORA NR 6

$$[1 \quad -1 \quad 1]$$

Wektor V(0):

$$[1 \quad -1 \quad 1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[1 \quad 0 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[1 \quad -1 \quad 1]$$

Zbieżny do:

$$[1 \quad -1 \quad 1]$$

BADANIE WEKTORA NR 7

$$[1 \quad 1 \quad -1]$$

Wektor V(0):

$$[1 \quad 1 \quad -1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[-1 \quad 2 \quad 1]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$[3 \quad -2 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

KROK 3

Potencjał wejściowy U(3)

$$[-3 \quad 2 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy V(3)

$$[-1 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 4

Potencjał wejściowy U(4)

$$[3 \quad -2 \quad -3]$$

Potencjał wyjściowy V(4)

$$[1 \quad -1 \quad -1]$$

BRAK ZBIEZNOŚCI!!!!

BADANIE WEKTORA NR 8

$$[1 \quad 1 \quad 1]$$

Wektor V(0):

$$[1 \quad 1 \quad 1]$$

KROK 1

Potencjał wejściowy U(1)

$$[3 \quad 0 \quad 1]$$

Potencjał wyjściowy V(1)

$$[1 \quad -1 \quad 1]$$

KROK 2

Potencjał wejściowy U(2)

$$[1 \quad 0 \quad 3]$$

Potencjał wyjściowy V(2)

$$[1 \quad -1 \quad 1]$$

Zbieżny do:

$$[1 \quad -1 \quad 1]$$

2.3 Tryb asynchroniczny z unipolarną funkcją aktywacji

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & -1 \\ 2 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

BADANIE WEKTORA NR 1

0. 0. 0.

Potencjał wejściowy U(1)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(1)

0. 0. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(2)

0. 0. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(3)

0. 0. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(4)

0. 0. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(5)

0. 0. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(6)

0. 0. 0.

Zbieżny do:

0. 0. 0.

BADANIE WEKTORA NR 2

0. 0. 1.

Potencjał wejściowy U(1)

0. 0. 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

0. 0. 1.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

0. 0. 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

0. 1. 1.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

0. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

0. 1. 1.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

0. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. 1. 1.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. 1. 1.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(7)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(7)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(8)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(8)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(9)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(9)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(10)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(10)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(11)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(11)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(12)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(12)

1. 1. 0.

Zbieżny do:

1. 1. 0.

BADANIE WEKTORA NR 3

0. 1. 0.

Potencjał wejściowy U(1)

0. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(1)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(2)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(3)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. 1. 0.

Zbieżny do:

1. 1. 0.

BADANIE WEKTORA NR 4

0. 1. 1.

Potencjał wejściowy U(1)

0. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

1. 1. 1.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

1. 1. 1.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(7)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(7)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(8)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(8)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(9)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(9)

1. 1. 0.

Zbieżny do:

1. 1. 0.

BADANIE WEKTORA NR 5

1. 0. 0.

Potencjał wejściowy U(1)

1. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(1)

0. 0. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(2)

0. 0. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(3)

0. 0. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(4)

0. 0. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(5)

0. 0. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

0. 0. 0.

Potencjał wyjściowy V(6)

0. 0. 0.

Zbieżny do:

0. 0. 0.

BADANIE WEKTORA NR 6

1. 0. 1.

Potencjał wejściowy U(1)

1. 0. 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

0. 0. 1.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

0. 0. 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

0. 1. 1.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

0. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

0. 1. 1.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

0. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. 1. 1.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. 1. 1.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(7)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(7)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(8)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(8)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(9)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(9)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(10)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(10)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(11)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(11)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(12)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(12)

1. 1. 0.

Zbieżny do:

1. 1. 0.

BADANIE WEKTORA NR 7

1. 1. 0.

Potencjał wejściowy U(1)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(1)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(2)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(3)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. 1. 0.

Zbieżny do:

1. 1. 0.

BADANIE WEKTORA NR 8

1. 1. 1.

Potencjał wejściowy U(1)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

1. 1. 1.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

1. 1. 1.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. 1. 0.

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(7)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(7)

1. 1. 0.

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(8)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(8)

1. 1. 0.

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(9)

1. 1. 0.

Potencjał wyjściowy V(9)

1. 1. 0.

Zbieżny do:

1. 1. 0.

2.4 Tryb asynchroniczny z bipolarną funkcją aktywacji

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & -3 \\ -1 & 0 & 2 \\ -3 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

BADANIE WEKTORA NR 1

- 1. - 1. - 1.

Potencjał wejściowy U(1)

- 1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. - 1. - 1.

E: -6

Zbieżny do:

1. - 1. - 1.

BADANIE WEKTORA NR 2

- 1. - 1. 1.

Potencjał wejściowy U(1)

- 1. - 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

- 1. - 1. 1.

E: 0

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

- 1. - 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(7)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(7)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(8)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(8)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(9)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(9)

- 1. 1. 1.

E: -6

Zbieżny do:

- 1. 1. 1.

BADANIE WEKTORA NR 3

- 1. 1. - 1.

Potencjał wejściowy U(1)

- 1. 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

1. 1. - 1.

E: 0

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

1. 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(7)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(7)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(8)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(8)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(9)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(9)

1. - 1. - 1.

E: -6

Zbieżny do:

1. - 1. - 1.

BADANIE WEKTORA NR 4

- 1. 1. 1.

Potencjał wejściowy U(1)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

- 1. 1. 1.

E: -6

Zbieżny do:

- 1. 1. 1.

BADANIE WEKTORA NR 5

1. - 1. - 1.

Potencjał wejściowy U(1)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. - 1. - 1.

E: -6

Zbieżny do:

1. - 1. - 1.

BADANIE WEKTORA NR 6

1. - 1. 1.

Potencjał wejściowy U(1)

1. - 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

- 1. - 1. 1.

E: 0

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

- 1. - 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(7)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(7)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(8)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(8)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(9)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(9)

- 1. 1. 1.

E: -6

Zbieżny do:

- 1. 1. 1.

BADANIE WEKTORA NR 7

1. 1. - 1.

Potencjał wejściowy U(1)

1. 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

1. 1. - 1.

E: 0

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

1. 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(6)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(7)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(7)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(8)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(8)

1. - 1. - 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(9)

1. - 1. - 1.

Potencjał wyjściowy V(9)

1. - 1. - 1.

E: -6

Zbieżny do:

1. - 1. - 1.

BADANIE WEKTORA NR 8

1. 1. 1.

Potencjał wejściowy U(1)

1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(1)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(2)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(2)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(3)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(3)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 1

Potencjał wejściowy U(4)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(4)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 2

Potencjał wejściowy U(5)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy V(5)

- 1. 1. 1.

E: -6

KROK NW : 3

Potencjał wejściowy U(6)

- 1. 1. 1.

Potencjał wyjściowy $V(6)$

- 1. 1. 1.

E: -6

Zbieżny do:

- 1. 1. 1.

3.Zastosowanie sieci Hopfielda do rozpoznawania znaków.

1. Synchroniczny

1.1 Reguła Hebba

$W = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0];$

Wszystkie wektory zbieżne:

0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 1. 0. 1. 1. 0. 0. 1. 0.

Macierz V :

0. 1. 0. 1. 1. 0. 0. 1. 0.

Wypisania Macierzy Z

0. 1. 0. 1. 1. 0. 0. 1. 0.

#

##*

#

Wagi:

0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.1111111	0.1111111	0.	0.	0.1111111
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.1111111	0.	0.	0.1111111	0.	0.	0.1111111
0.	0.1111111	0.	0.1111111	0.	0.	0.	0.1111111
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.1111111	0.	0.1111111	0.1111111	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

1.2 Pseudoinwersja

C1 = [1 0 0 1 0 0;
0 0 1 1 0 0;
0 1 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 1;
0 0 0 1 1 0];

C2 = [0 0 0 1 0 0;
0 0 1 1 0 0;
0 1 0 1 0 0;
1 0 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 0];

Wszystkie wektory zbieżne:

0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	1.
0.	0.	0.	0.	1.	0.
0.	0.	0.	0.	1.	1.
0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	1.
0.	0.	0.	1.	1.	0.
0.	0.	0.	1.	1.	1.
0.	0.	1.	0.	0.	0.
0.	0.	1.	0.	0.	1.
0.	0.	1.	0.	1.	0.
0.	0.	1.	0.	1.	1.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	1.
0.	0.	1.	1.	1.	0.
0.	0.	1.	1.	1.	1.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	1.

0.	1.	0.	0.	1.	0.
0.	1.	0.	0.	1.	1.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	1.
0.	1.	0.	1.	1.	0.
0.	1.	0.	1.	1.	1.
0.	1.	1.	0.	0.	0.
0.	1.	1.	0.	0.	1.
0.	1.	1.	0.	1.	0.
0.	1.	1.	0.	1.	1.
0.	1.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	1.
0.	1.	1.	1.	1.	0.
0.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	0.	0.	0.	0.	0.
1.	0.	0.	0.	0.	1.
1.	0.	0.	0.	1.	0.
1.	0.	0.	0.	1.	1.
1.	0.	0.	1.	0.	0.
1.	0.	0.	1.	0.	1.
1.	0.	0.	1.	1.	0.
1.	0.	0.	1.	1.	1.
1.	0.	1.	0.	0.	0.
1.	0.	1.	0.	0.	1.
1.	0.	1.	0.	1.	0.
1.	0.	1.	0.	1.	1.
1.	0.	1.	1.	0.	0.
1.	0.	1.	1.	0.	1.
1.	0.	1.	1.	1.	0.
1.	0.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	0.	0.	0.	0.
1.	1.	0.	0.	0.	1.
1.	1.	0.	0.	1.	0.
1.	1.	0.	0.	1.	1.
1.	1.	0.	1.	0.	0.

1.	1.	0.	1.	0.	1.
1.	1.	0.	1.	1.	0.
1.	1.	0.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	0.	0.	0.
1.	1.	1.	0.	0.	1.
1.	1.	1.	0.	1.	0.
1.	1.	1.	0.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	0.	0.
1.	1.	1.	1.	0.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	0.
1.	1.	1.	1.	1.	1.

Macierz V :

0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
1.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.

Macierzy Z :

0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
1.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.

Wektor początkowy

###**

##

*###**

***##*

***##

***##*

Wektor końcowy

***##*

##

*###**

###***

***##*

***##*

->

1.3 Pseudoinwersja

C3 = [0 0 0 1 0 0;
0 0 1 1 0 0;
0 1 0 1 0 0;
1 1 1 1 0 0;
0 0 0 1 1 0;
1 1 0 1 0 1];

C4 = [0 0 1 1 0 0;
0 1 0 1 0 0;
1 1 1 1 0 0;
0 0 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 0];

Wszystkie wektory zbieżne:

0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 1.
0. 0. 0. 0. 1. 0.
0. 0. 0. 0. 1. 1.
0. 0. 0. 1. 0. 0.
0. 0. 0. 1. 0. 1.
0. 0. 0. 1. 1. 0.
0. 0. 0. 1. 1. 1.
0. 0. 1. 0. 0. 0.

0.	0.	1.	0.	0.	1.
0.	0.	1.	0.	1.	0.
0.	0.	1.	0.	1.	1.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	1.
0.	0.	1.	1.	1.	0.
0.	0.	1.	1.	1.	1.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	1.
0.	1.	0.	0.	1.	0.
0.	1.	0.	0.	1.	1.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	1.
0.	1.	0.	1.	1.	0.
0.	1.	0.	1.	1.	1.
0.	1.	1.	0.	0.	0.
0.	1.	1.	0.	0.	1.
0.	1.	1.	0.	1.	0.
0.	1.	1.	0.	1.	1.
0.	1.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	1.
0.	1.	1.	1.	1.	0.
0.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	0.	0.	0.	0.	0.
1.	0.	0.	0.	0.	1.
1.	0.	0.	0.	1.	0.
1.	0.	0.	0.	1.	1.
1.	0.	0.	1.	0.	0.
1.	0.	0.	1.	0.	1.
1.	0.	0.	1.	1.	0.
1.	0.	0.	1.	1.	1.
1.	0.	1.	0.	0.	0.
1.	0.	1.	0.	0.	1.
1.	0.	1.	0.	1.	0.
1.	0.	1.	0.	1.	1.

1.	0.	1.	1.	0.	0.
1.	0.	1.	1.	0.	1.
1.	0.	1.	1.	1.	0.
1.	0.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	0.	0.	0.	0.
1.	1.	0.	0.	0.	1.
1.	1.	0.	0.	1.	0.
1.	1.	0.	0.	1.	1.
1.	1.	0.	1.	0.	0.
1.	1.	0.	1.	0.	1.
1.	1.	0.	1.	1.	0.
1.	1.	0.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	0.	0.	0.
1.	1.	1.	0.	0.	1.
1.	1.	1.	0.	1.	0.
1.	1.	1.	0.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	0.	0.
1.	1.	1.	1.	0.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	0.
1.	1.	1.	1.	1.	1.

Macierz V :

0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
1.	1.	1.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.

Macierz Z :

```

0.  0.  0.  1.  0.  0.
0.  0.  1.  1.  0.  0.
0.  1.  0.  1.  0.  0.
1.  1.  1.  1.  0.  0.
0.  0.  0.  1.  0.  0.
0.  0.  0.  1.  0.  0.

```

Wektor początkowy

```

***#**
**###*
*##**
#####*
***###*
##*##*

```

->

Wektor końcowy

```

***#**
**###*
*##**
#####*
***###*
***#**

```

2. Asynchroniczny

2.1 Reguła Hebba

Cjeden = [0 1 0 1 1 0 0 1 0];

Macierz wektorów zbieżnych:

```

0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.
0.  1.  0.  1.  1.  0.  0.  1.  0.

```

Macierz V :

```

0.  1.  0.  1.  1.  0.  0.  1.  0.

```

Macierz Wektorów Rozpoznanych :

```

0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.
0.  1.  0.  1.  1.  0.  0.  1.  0.

```

Macierz V :

```

0.  1.  0.  1.  1.  0.  0.  1.  0.

```

Wypisania Macierzy Z

0. 1. 0. 1. 1. 0. 0. 1. 0.

#

##*

#

Wagi:

0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.3333333	0.3333333	0.	0.	0.3333333
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.3333333	0.	0.	0.3333333	0.	0.	0.3333333
0.	0.3333333	0.	0.3333333	0.	0.	0.	0.3333333
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.3333333	0.	0.3333333	0.3333333	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

2.2 Pseudoinwersja

Vjeden = [1 0 0 1 0 0;
0 0 1 1 0 0;
0 1 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 1;
0 0 0 1 1 0];

Vjeden1 = [0 0 0 1 0 0;
0 0 1 1 0 0;
0 1 0 1 0 0;
1 0 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 0;
0 0 0 1 0 0];

Macierz wektorów zbieżnych:

0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	1.
0.	0.	0.	0.	1.	0.
0.	0.	0.	0.	1.	1.
0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	1.
0.	0.	0.	1.	1.	0.
0.	0.	0.	1.	1.	1.
0.	0.	1.	0.	0.	0.
0.	0.	1.	0.	0.	1.
0.	0.	1.	0.	1.	0.
0.	0.	1.	0.	1.	1.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	1.
0.	0.	1.	1.	1.	0.
0.	0.	1.	1.	1.	1.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	1.
0.	1.	0.	0.	1.	0.
0.	1.	0.	0.	1.	1.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	1.
0.	1.	0.	1.	1.	0.
0.	1.	0.	1.	1.	1.
0.	1.	1.	0.	0.	0.
0.	1.	1.	0.	0.	1.
0.	1.	1.	0.	1.	0.
0.	1.	1.	0.	1.	1.
0.	1.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	1.
0.	1.	1.	1.	1.	0.
0.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	0.	0.	0.	0.	0.
1.	0.	0.	0.	0.	1.
1.	0.	0.	0.	1.	0.
1.	0.	0.	0.	1.	1.
1.	0.	0.	1.	0.	0.
1.	0.	0.	1.	0.	1.
1.	0.	0.	1.	1.	0.
1.	0.	0.	1.	1.	1.
1.	0.	1.	0.	0.	0.
1.	0.	1.	0.	0.	1.
1.	0.	1.	0.	1.	0.
1.	0.	1.	0.	1.	1.
1.	0.	1.	1.	0.	0.
1.	0.	1.	1.	0.	1.
1.	0.	1.	1.	1.	0.

1.	0.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	0.	0.	0.	0.
1.	1.	0.	0.	0.	1.
1.	1.	0.	0.	1.	0.
1.	1.	0.	0.	1.	1.
1.	1.	0.	1.	0.	0.
1.	1.	0.	1.	0.	1.
1.	1.	0.	1.	1.	0.
1.	1.	0.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	0.	0.	0.
1.	1.	1.	0.	0.	1.
1.	1.	1.	0.	1.	0.
1.	1.	1.	0.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	0.	0.
1.	1.	1.	1.	0.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	0.
1.	1.	1.	1.	1.	1.

Macierz V :

0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
1.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.

Macierz wektorów rozpoznanych :

0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	1.
0.	0.	0.	0.	1.	0.
0.	0.	0.	0.	1.	1.
0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	1.
0.	0.	0.	1.	1.	0.
0.	0.	0.	1.	1.	1.
0.	0.	1.	0.	0.	0.
0.	0.	1.	0.	0.	1.
0.	0.	1.	0.	1.	0.
0.	0.	1.	0.	1.	1.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	1.
0.	0.	1.	1.	1.	0.
0.	0.	1.	1.	1.	1.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	1.
0.	1.	0.	0.	1.	0.
0.	1.	0.	0.	1.	1.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	1.
0.	1.	0.	1.	1.	0.

0.	1.	0.	1.	1.	1.
0.	1.	1.	0.	0.	0.
0.	1.	1.	0.	0.	1.
0.	1.	1.	0.	1.	0.
0.	1.	1.	0.	1.	1.
0.	1.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	1.
0.	1.	1.	1.	1.	0.
0.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	0.	0.	0.	0.	0.
1.	0.	0.	0.	0.	1.
1.	0.	0.	0.	1.	0.
1.	0.	0.	0.	1.	1.
1.	0.	0.	1.	0.	0.
1.	0.	0.	1.	0.	1.
1.	0.	0.	1.	1.	0.
1.	0.	0.	1.	1.	1.
1.	0.	1.	0.	0.	0.
1.	0.	1.	0.	0.	1.
1.	0.	1.	0.	1.	0.
1.	0.	1.	0.	1.	1.
1.	0.	1.	1.	0.	0.
1.	0.	1.	1.	0.	1.
1.	0.	1.	1.	1.	0.
1.	0.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	0.	0.	0.	0.
1.	1.	0.	0.	0.	1.
1.	1.	0.	0.	1.	0.
1.	1.	0.	0.	1.	1.
1.	1.	0.	1.	0.	0.
1.	1.	0.	1.	0.	1.
1.	1.	0.	1.	1.	0.
1.	1.	0.	1.	1.	1.
1.	1.	1.	0.	0.	0.
1.	1.	1.	0.	0.	1.
1.	1.	1.	0.	1.	0.
1.	1.	1.	0.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	0.	0.
1.	1.	1.	1.	0.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	0.
1.	1.	1.	1.	1.	1.

Macierz V :

0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	0.	1.	0.	0.
1.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.
0.	0.	0.	1.	0.	0.

Macierz Z:

```

0.  0.  0.  1.  0.  0.
0.  0.  1.  1.  0.  0.
0.  1.  0.  1.  0.  0.
1.  0.  0.  1.  0.  0.
0.  0.  0.  1.  0.  0.
0.  0.  0.  1.  0.  0.

```

Wektor początkowy

```

#####
**###*
*#####
***##*
***##*
***##*
***##*

```

->

Wektor końcowy

```

***###
***###
*#####
#####
#####
#####
#####

```

2.3 Reguła Hebba

$C_j = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1];$

Macierz wektorów zbieżnych:

```

0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.
1.  1.  1.  1.  0.  0.  1.  1.  1.

```

Macierz V :

```

1.  1.  1.  1.  0.  0.  1.  1.  1.

```

Macierz wektorów Rozpoznanych :

```

0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.  0.
1.  1.  1.  1.  0.  0.  1.  1.  1.

```

Macierz V :

```

1.  1.  1.  1.  0.  0.  1.  1.  1.

```

Wypisania Macierzy Z

1. 1. 1. 1. 0. 0. 1. 1. 1.

###

##**

###

Wagi:

0.	0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.	0.	0.3333333	0.3333333	0.3333333
0.3333333	0.	0.3333333	0.3333333	0.	0.	0.3333333	0.3333333	0.3333333
0.3333333	0.3333333	0.	0.3333333	0.	0.	0.3333333	0.3333333	0.3333333
0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.	0.	0.	0.3333333	0.3333333	0.3333333
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.	0.	0.	0.3333333	0.3333333
0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.	0.	0.3333333	0.	0.3333333
0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.3333333	0.	0.	0.3333333	0.3333333	0.

2.4 Pseudoinwersji

Macierz wektorów zbieżnych:

0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	1.
0.	0.	0.	0.	1.	0.
0.	0.	0.	0.	1.	1.
0.	1.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	1.
0.	0.	1.	1.	1.	0.
0.	0.	1.	1.	1.	1.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	1.
0.	1.	0.	0.	1.	0.
0.	1.	0.	0.	1.	1.
0.	1.	1.	1.	1.	0.
0.	1.	1.	1.	1.	1.

1.	0.	0.	0.	0.	0.
1.	0.	0.	0.	0.	1.
1.	0.	0.	0.	1.	0.
1.	0.	0.	0.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	0.	0.
1.	1.	1.	1.	0.	1.
1.	0.	1.	1.	1.	0.
1.	0.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	0.	0.	0.	0.
1.	1.	0.	0.	0.	1.
1.	1.	0.	0.	1.	0.
1.	1.	0.	0.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	0.
1.	1.	1.	1.	1.	1.

Macierz V :

0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	0.

Macierz wektorów rozpoznanych :

0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	1.
0.	0.	0.	0.	1.	0.
0.	0.	0.	0.	1.	1.
0.	1.	1.	1.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	1.
0.	0.	1.	1.	1.	0.
0.	0.	1.	1.	1.	1.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	1.
0.	1.	0.	0.	1.	0.

0.	1.	0.	0.	1.	1.
0.	1.	1.	1.	1.	0.
0.	1.	1.	1.	1.	1.
1.	0.	0.	0.	0.	0.
1.	0.	0.	0.	0.	1.
1.	0.	0.	0.	1.	0.
1.	0.	0.	0.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	0.	0.
1.	1.	1.	1.	0.	1.
1.	0.	1.	1.	1.	0.
1.	0.	1.	1.	1.	1.
1.	1.	0.	0.	0.	0.
1.	1.	0.	0.	0.	1.
1.	1.	0.	0.	1.	0.
1.	1.	0.	0.	1.	1.
1.	1.	1.	1.	1.	0.
1.	1.	1.	1.	1.	1.

Macierz V :

0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	0.

Macierz Z :

0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	0.	0.	0.	0.
0.	1.	1.	1.	0.	0.

Wektor początkowy

###***

*#****

####

###*

##*#*

#####

Wektor końcowy

*#****

*#****

*#****

*#****

*#****

####

4. Podsumowanie

W pracy zostało przedstawione analityczne działanie Sieci Hopfielda w trybie synchronicznym i asynchronicznym z funkcją aktywacji unipolarną oraz bipolarną. Dla przedstawionych przykładów została zastosowana odpowiednio funkcja synchronicznaSH() bądź asynchronicznaSH(), aby sprawdzić czy obliczenia analityczne oraz te powstałe w wyniku symulacji zgadzają się.

W punkcie 3 opisano sposób kodowania wybranych znaków, przedstawiono ich graficzną interpretację oraz zaprezentowano wynik rozpoznania znaków przez funkcję synchronicznaSH() oraz asynchronicznaSH(). Jako rozszerzenie przekształcono funkcję wyświetlającą interpretację tekstowo-graficzną wektora na taką, która wyświetla dwa wektory, początkowy oraz rozpoznany przez funkcję.