

УДК 004.48: 004.94

DOI: 10.20998/2411-0558.2024.01.07

*В. Д. ДМИТРИЄНКО*, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПІ",  
*С. Ю. ЛЕОНОВ*, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПІ",  
*М. В. МЕЗЕНЦЕВ*, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПІ"

## НЕЙРОННА МЕРЕЖА ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЇ ЗОБРАЖЕНЬ НА КОРДОНАХ ДЕКІЛЬКОХ КЛАСІВ

Нейронна мережа належить до комп'ютерних систем обчислювальної техніки та штучного інтелекту в області побудови автоматизованих систем розпізнавання та класифікації зображень на кордоні декількох класів, що виконаний з можливістю виконання діагностики та розпізнавання зображення на кордонах двох, трьох та більшого числа класів завдяки тому, що шар схем виділення одного, двох або більшої кількості одиничних сигналів з виходів шару вихідних нейронів  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p, \dots, Y_m$  в кожний момент часу пам'ятає число ненульових сигналів на виході нейронів вихідного шару, а другий шар вихідних нейронів  $X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_m$  запам'ятовує нейрони вихідного шару, які мають на своїх виходах ненульові сигнали. Технічним результатом, що досягається цією нейронною мережею є збільшення числа класів, які розпізнаються, та можливість розпізнавати зображення, що знаходяться на однаковій відстані Хемінга від двох, трьох або більшої кількості еталонних зображень, що зберігаються у вагах зв'язків нейронів шару, що запам'ятовує. Проведено експериментальне оцінювання методу та нейронної мережі для розв'язання задач зіставлення цифрових зображень. Нейронна мережа реалізована у вигляді програмної утиліти. Іл.: 2. Бібліогр.: назв.

**Ключові слова:** комп'ютерні системи; нейронна мережа; автоматизовані системи; діагностика та керування складними технічними об'єктами; класи, які розпізнаються; діагностика; обробка сигналів; еталонні зображення; шар запам'ятовуючих нейронів.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Розроблена нейронна мережа належить до області побудови автоматизованих систем керування, а саме до напрямку побудови систем штучного інтелекту, які використовуються для діагностики та керування складними технічними об'єктами, такими як тяговий електропривод.

Відома велика кількість нейронних мереж для розпізнавання, класифікації різноманітних об'єктів. Відомі нейронні мережі для розпізнавання та класифікації [1 – 5] образів складається з сенсорного

шару нейронів  $Z_1, Z_2, \dots, Z_p, \dots, Z_m$  (множини порогових елементів), шару інтерфейсних елементів  $A_1, A_2, \dots, A_p, \dots, A_m$ , нейрони якого пов'язані з відповідними їм елементами сенсорного шару вхідними бінарними односпрямованими зв'язками [1]. Недоліком нейронної мережі [1] для розпізнавання та класифікації образів є те, що вона відносить до одного образу навіть ті зображення, що відносяться до двох або більшої кількості зображень (або знаходяться на однаковій відстані від двох або більшого числа еталонних зображень, що зберігаються в пам'яті нейронної мережі).

Найбільш близько до нейронної мережі, що розглядається, є нейронна мережа для розпізнавання и класифікації образів, яка наведена на рис. 1 [5] та складається з шару сенсорних нейронів  $Z_1, Z_2, \dots, Z_p, \dots, Z_m$ ; шару ітераційних нейронів  $A_1, A_2, \dots, A_p, \dots, A_m$ ; шару вихідних нейронів  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p, \dots, Y_m$ ; шару запам'ятовуючих нейронів  $X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_m$ ; джерела сигналу зміщення, вихід якого пов'язаний з входом кожного нейрона шару, що запам'ятовує.

Нейрони цього шару пов'язані вхідними бінарними односпрямованими зв'язками з виходами відповідних нейронів сенсорного шару та вихідними зв'язками з безперервними ваговими коефіцієнтами входами відповідних нейронів шару ітераційних нейронів. Перший вихід кожного нейрона ітераційного шару, пов'язаний збудливим зв'язком з його входом та гальмуючим зв'язком з входами інших нейронів шару ітераційних нейронів. Інші виходи нейронів ітераційного шару пов'язані з відповідними входами шару вихідних нейронів [2, 3]. Шар виділення одного, двох або більшої кількості одиничних сигналів з виходів шару вихідних нейронів  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p, \dots, Y_m$  в кожний момент часу пам'ятає число ненульових сигналів на виході нейронів вихідного шару, а другий шар вихідних нейронів  $X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_m$  запам'ятовує нейрони вихідного шару, що мають на своїх виходах ненульові сигнали.

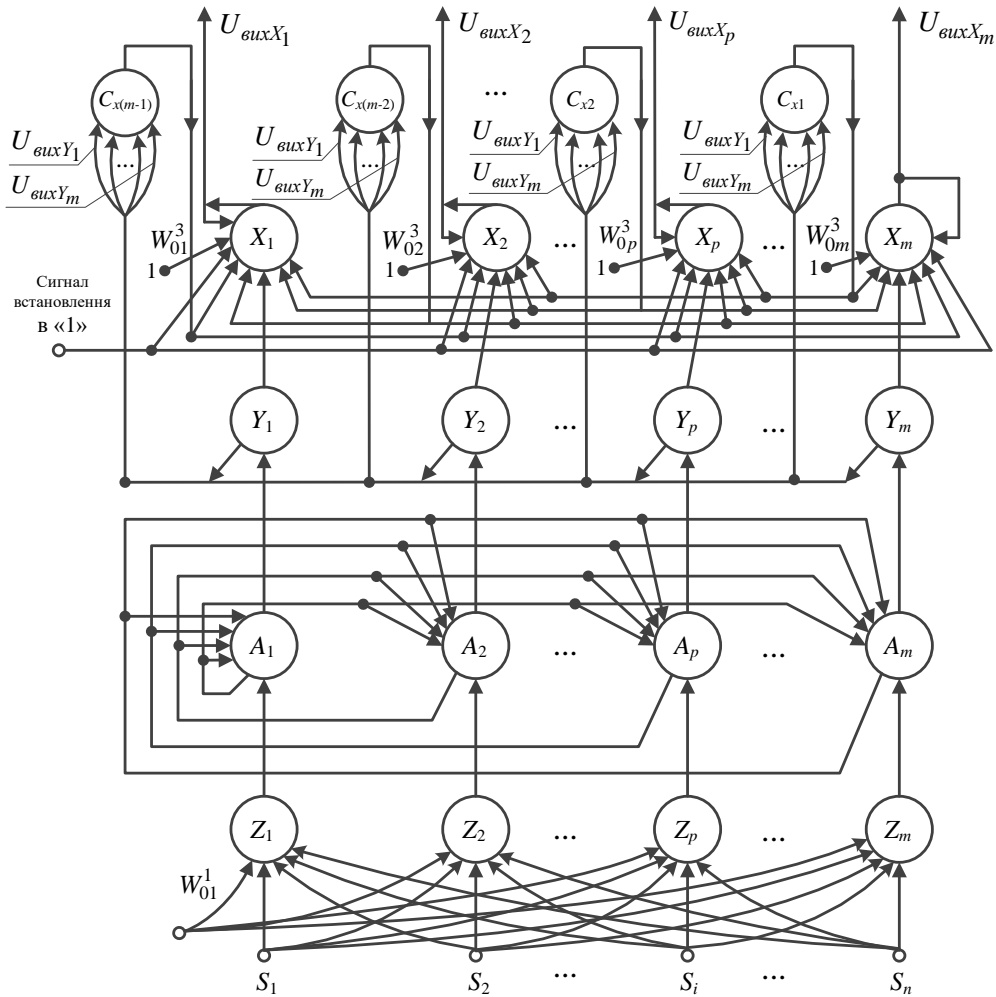


Рис. 1. Нейронна мережа для розпізнавання та класифікації зображень на кордонах декількох класів

Архітектура пропонуваної нейронної мережі відрізняється від архітектури мережі Хемінга [2, 4] тим, що в ній введено шар схем виділення 1, 2, ..., (m - 2), (m - 1) одиничних сигналів  $C_{X_1}, C_{X_2}, \dots, C_{X(m-2)}, C_{X(m-1)}$  і додатковий шар X-нейронів:  $X_1, X_2, \dots, X_{m-1}, X_m$ . Всі X-нейрони мають функцію активації вигляду

$$U_{\text{вих}} = g(U_{\text{вх}}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } U_{\text{вх}} \geq 0, \\ 0, & \text{якщо } U_{\text{вх}} < 0, \end{cases} \quad (1)$$

де  $U_{\text{вих}}$ ,  $U_{\text{вх}}$  – відповідно вихідний та вхідний сигнали нейрона, що має функцію активації  $g(U_{\text{вх}})$ .

Схема виділення  $k$  ( $k = 1, (m - 1)$ ) одиничних сигналів з  $m$  сигналів (рис. 2) складається з трьох нейронів. На входи нейронів  $N_1$  та  $N_2$  надходять сигнали з виходів нейронів  $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ . Сигнали  $U_{\text{вих}Y_1}, U_{\text{вих}Y_2}, \dots, U_{\text{вих}Y_m}$  на входи нейрона  $N_1$  надходять зі зв'язків з вагами  $W_{Y_1N_1}, W_{Y_2N_1}, \dots, W_{Y_mN_1} = -1$ , а на входи нейрона  $N_2$  надходять зі зв'язків з вагами  $W_{Y_1N_2}, W_{Y_2N_2}, \dots, W_{Y_mN_2} = 1$ . Нейрони схеми мають функцію активації вигляду (1). При вазі зв'язку  $W_{0N_1} = k$  сигнал зміщення нейрона  $N_1$  цей елемент видає одиничний вихідний сигнал в тому випадку, якщо число вхідних одиничних сигналів менше або дорівнює  $k$ . Нейрон  $N_2$  при вазі зв'язку  $W_{0N_2} = -k$  сигналу зміщення може видавати одиничний сигнал при числі вхідних одиничних сигналів  $Y$ -елементів більша або дорівнює  $k$ . Тому поодинокі сигнали на виходах нейронів  $N_1$  та  $N_2$  одночасно можуть з'явитись тільки при  $k$  одиничних сигналів на входах нейронів  $N_1$  та  $N_2$ . Нейрон  $N_3$ , що має функцію активації вигляду (1), може перейти в активний стан тільки при наявності одиничних сигналів на виходах обох нейронів  $N_1$  та  $N_2$ . Таким чином, одиничний сигнал на вході схеми з'являється тільки при  $k$  одиничних сигналах на вході схеми.

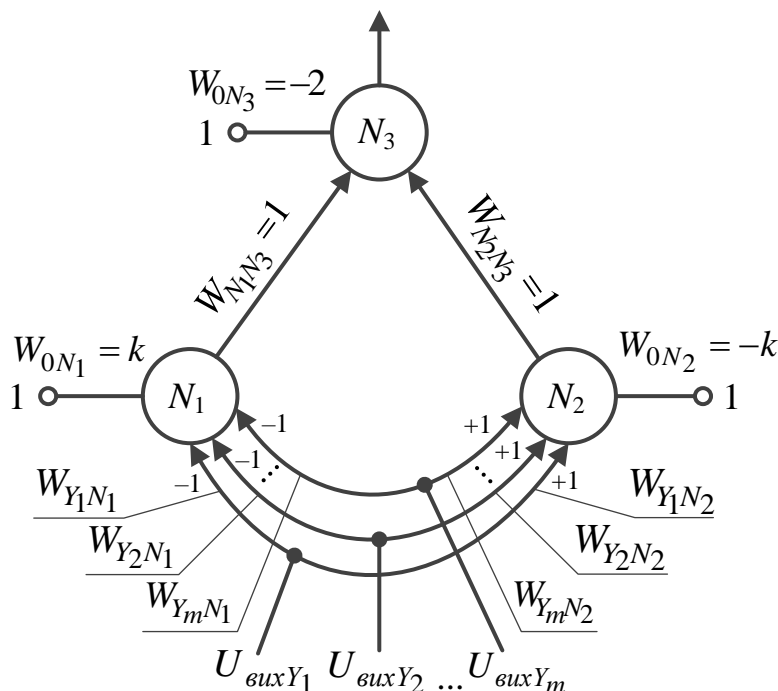


Рис. 2. Схема виділення  $k$  ( $k = 1, (m - 1)$ ) одиничних сигналів з  $m$  сигналів

На входи нейронів  $N_1$  та  $N_2$  надходять сигнали з шару  $Y$ -нейронів.

Сигнали на входах елементів  $X_p$  ( $p = \overline{1, m}$ ) розраховується за співвідношенням

$$U_{вих X_p} = U_{вих Y_p} W_{Y_p X_p} + W_{0_p}^3 \cdot 1 + U_{вих X_p} W_{Y_p X_p} + \sum_{k=1}^{m-1} W_{C_{X_k}} X_p \cdot U_{вих C_{X_k}}, \quad p = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де  $U_{вих Y_p}$ ,  $U_{вих X_p}$  – вихідні сигнали нейронів  $Y_p$ ,  $X_p$ ,  $p = \overline{1, m}$ ;

$W_{Y_p X_p}$  – вага зв'язку від нейрона  $Y_p$  до нейрона  $X_p$ ,  $p = \overline{1, m}$ ,  $W_{Y_p X_p} = 1$ ;

$W_{0_p}^3$  – вага зв'язку з виходу нейрона  $X_p$  на його вхід  $W_{X_p X_p} = 2$ ,  $p = \overline{1, m}$ ;

$W_{XpXp}$  – вага зв'язку з виходу нейрона  $Xp$  на його вхід  $p = \overline{1, m}$ ;

$W_{C_{Xk}Xp}$  – вага зв'язку з виходу схеми виділення  $k$  одиночних сигналів на вхід нейрона  $Xp$ ;  $k = \overline{1, (m-1)}$ ,  $p = \overline{1, m}$ ,  $W_{C_{Xk}Xp} = -1$ .

Перед початком розпізнавання сигналом установки в одиницю всі нейрони  $X$ -шару встановлюються в одиничний стан. Це стан будь-якого нейрона  $Xp$  надалі підтримується зворотнім зв'язком з виходу нейрона на його вхід.

За наявності функції (1) на виході нейрона  $Xp$  буде одиничний вихідний сигнал.

Функціонування нейронної мережі в режимі розпізнавання.

Виконується режим установки нейронів в початковий стан – вихідні сигнали нейронів  $X$ -шару задаються рівними одиниці, а вихідні сигнали всіх інших нейронів – рівними нулю.

Розглянемо декілька характерних режимів розпізнавання:

1. На вхід нейронної мережі подається зображення, що знаходиться на однаковій відстані Хемінга від усіх зображень, що зберігаються у вагах зв'язків нейронів  $Z_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ). Після визначення відстані між вхідними зображеннями і зображеннями, що зберігаються у вагах зв'язків нейронів  $Z_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ). На виходах нейронів  $Z$ -шару з'являться вихідні сигнали  $U_{\text{вих}Z_1} = U_{\text{вих}Z_2} = U_{\text{вих}Z_m}$ , величини яких пропорційні близькості вхідного зображення та зображень, що зберігаються у вагах зв'язків нейронів  $Z$ -шару.

Сигнали з виходів нейронів  $Z$ -шару надходять на входи нейронів  $A$ -шару, де починається ітераційних процес виділення максимального сигналу, що надійшов з виходів  $Z$ -нейронів. Якщо на виходах всіх  $Z$ -нейронів є позитивні вихідні сигнали, то і на виходах всіх  $A$ -нейронів будуть позитивні сигнали, які надійдуть на входи  $Y$ -нейронів і переведуть їх в активний стан:  $U_{\text{вих}Y_j} = 1$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Якщо на виходах всіх  $Y$ -нейронів є одиничні вихідні сигнали, то жоден з  $\Sigma$ -нейронів не змінить свого стану. Не зміниться стан і  $X$ -нейронів.

Якщо вхідне зображення знаходиться на однаковій відстані Хемінга від усіх зображень, то ітераційний процес в шарі  $A$ -нейронів призведе до того, що на виходах всіх  $A$ -нейронів одночасно з'являться нульові сигнали.

У тому випадку, коли вхідне зображення перебуває на мінімальній відстані Хемінга від одного зображення, процес виділення єдиного елемента в  $A$ -шарі з максимальним вихідним сигналом протікає аналогічно.

### **Висновки.**

Таким чином, розроблена нейронна мережа, яка може розпізнавати зображення на кордонах двох, трьох або більшого числа класів (або розпізнавати зображення, що знаходяться на однаковій відстані Хемінга від двох, трьох або більшої кількості еталонних зображень, що зберігаються у вагах зв'язків нейронного шару, що запам'ятовує).

### **Список літератури:**

1. Ямпольский Л.С. Нейротехнології та нейросистеми / Л.С. Ямпольский. – К.: Монографія. – "Дорадо-Друк", 2015. – 508 с.
2. Fausett L. Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms And Applications / L. Fausett. New Jersey: Prentice-Hall. Int., 2006. – 483 p.
3. Dmitrienko, V.D., Zakovorotny, A. Yu., and Leonov S. Yu. (2017), "Hamming neural network for solving problems with several solutions", Bulletin of NTU "KPI", Series: Informatics and Modelling, Kharkiv, NTU "KPI", No. 50 (1271). P. 119-129.
4. Dmitrienko, V.D., Zakovorotny, A. Yu. (2013), Neural network using Hamming distance to recognize images at boundaries of several classes / Bulletin of NTU "KPI", Series: Informatics and Modelling, Kharkiv, NTU "KPI", No. 39 (1012). P. 57-67.
5. Патент України на винахід №108009. Нейромережевий пристрій для розпізнавання та класифікації зображень на границі декількох класів, кл. G06K 9100, G06K 9162, G06K 9166, 2015, Бюл. №5. Дмитрієнко В.Д., Заковоротний О.Ю., Хавіна І.П.

### **References:**

1. Yampolsky L.S. (2015). *Neurotechnologies and neurosystems*, K.: Monograph. "Dorado-Druk ". – 508 p.
2. Fausett L. (2006). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms And Applications*. New Jersey: Prentice-Hall. Int., – 483 p.
3. Dmitrienko, V.D., Zakovorotny, A. Yu., and Leonov S. Yu. (2017), "Hamming neural network for solving problems with several solutions", *Bulletin of NTU "KPI", Series: Informatics and Modelling, Kharkiv, NTU "KPI", No. 50 (1271)*. pp. 119-129.

4. Dmitrienko, V.D., Zakovorotny, A. Yu. (2013), *Neural network using Hamming distance to recognize images at boundaries of several classes / Bulletin of NTU "KPI", Series: Informatics and Modelling, Kharkiv, NTU "KPI", No. 39 (1012). pp. 57-67.*

5. Patent of Ukraine for the invention №108009. Neural network device for recognition and classification of images on the border of several classes, cl.GO6K 9100, GO6K 9162, GO6K 9166, 2015, Bul. №5. Dmytrienko V.D., Zakovorotny O.Yu., Khavina I.P.

*Статтю представив д.т.н., проф. Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" В.І. Носков.*

*Поступила (received) 06.08.2023*

Dmitrienko Valerii, Dr. Tech. Sci., Professor  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Kirpicheva, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel.: +38 (057) 707-61-98, e-mail: valdmitrienko@gmail.com  
ORCID ID: 0000-0003-2523-595X

Leonov Sergey, Dr. Tech. Sci., Professor  
National Technical University "Kharkiv Politechnical Institute"  
Str. Kirpichova, 2, Kharkov, Ukraine, 61002  
Tel.: (099) 911-911-3, e-mail: serleomail@gmail.com  
ORCID ID 0000-0001-8139-0458

Mezentsev Mykola, Cand. Tech. Sci., Docent  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Kirpicheva, 2, Kharkiv, Ukraine, 61002  
Tel.: +38 (098) 859-88-98, e-mail: mykola.mezentsev@khp.edu.ua  
ORCID ID: 0000-0001-7834-2797



УДК 004.48: 004.94

**Нейронна мережа для розпізнавання та класифікації зображень на кордонах декількох класів / Дмитрієнко В.Д., Леонов С.Ю., Мезенцев М.В.** // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2024. – № 1 – 2 (11 – 12). – С. 87 – 95.

Нейронна мережа належить до комп'ютерних систем обчислювальної техніки та штучного інтелекту в області побудови автоматизованих систем розпізнавання та класифікації зображень на кордоні декількох класів, що виконаний з можливістю виконання діагностики та розпізнавання зображення на кордонах двох, трьох та більшого числа класів завдяки тому, що шар схем виділення одного, двох або більшої кількості одиничних сигналів з виходів шару вихідних нейронів  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p, \dots, Y_m$  в кожний момент часу пам'ятає число ненульових сигналів на виході нейронів вихідного шару, а другий шар вихідних нейронів  $X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_m$  запам'ятовує нейрони вихідного шару, які мають на своїх виходах ненульові сигнали. Технічним результатом, що досягається цією нейронною мережею є збільшення числа класів, які розпізнаються, та можливість розпізнавати зображення, що знаходяться на однаковій відстані Хемінга від двох, трьох або більшої кількості еталонних зображень, що зберігаються у вагах зв'язків нейронів шару, що запам'ятовує. Проведено експериментальне оцінювання методу та нейронної мережі для розв'язання задач зіставлення цифрових зображень. Нейронна мережа реалізована у вигляді програмної утиліти. Іл.: 2. Бібліогр.: назв.

**Ключові слова:** комп'ютерні системи; нейронна мережа; автоматизовані системи; діагностика та керування складними технічними об'єктами; класи, які розпізнаються; діагностика; обробка сигналів; талонні зображення; шар запам'ятовуючих нейронів.

УДК 004.48: 004.94

**A neural network for recognizing and classifying images at the boundaries of several classes / Dmitrienko V.D., Leonov S.Yu., Mezentsev M.V.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2024. – № 1 – 2 (11 – 12). – С. 87 – 95.

The neural network belongs to the computer systems of computing technology and artificial intelligence in the field of building automated systems for recognizing and classifying images at the border of several classes, which is made with the ability to perform diagnostics and image recognition at the borders of two, three or more classes due to the fact that the layer schemes for selection of one, two or more single signals from the outputs of the layer of output neurons  $Y_1, Y_2, \dots, Y_p, \dots, Y_m$  at each moment of time remembers the number of non-zero signals at the output of neurons of the output layer, and the second layer of output neurons  $X_1, X_2, \dots, X_p, \dots, X_m$  remembers neurons of the output layer that have non-zero signals at their outputs. The technical result achieved by this neural network is an increase in the number of classes that can be recognized and the ability to recognize images that are at the same Hamming distance from two, three or more reference images stored in the connection weights of the neurons of the memory layer. An experimental evaluation of the method and neural network for solving the problems of matching digital images was carried out. The neural network is implemented as a software utility. Il.: 2; Bibliogr.: 15 titles.

**Keywords:** computer systems; neural network; automated systems; diagnostics and management of complex technical objects; recognized classes; diagnostics; signal processing; coupon images; layer of memory neurons.